

EYMİR–MOGAN GÖLLERİ ARASINDA

YERALTISUYU AKIM

VE

KÜTLE TAŞINIM MODELİ

GROUNDWATER FLOW AND

SOLUTE TRANSPORT MODEL

BETWEEN

EYMİR AND MOGAN LAKES

(ANKARA-TURKEY)

Erkan DİŞLİ

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

JEOLOJİ (HİDROJEOLOJİ) Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

DOKTORA TEZİ

olarak hazırlanmıştır

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLojİ (HİDROJEOLojİ) ANABİLİM DALI**
DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
Prof. Dr. Alparslan ARIKAN

Üye (Danışman) :
Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN

Üye :
Prof. Dr. Serdar BAYARI

Üye :
Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Üye :
Doç. Dr. Mehmet ÇELİK

ONAY

Bu tez/...../2007 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Erdem YAZGAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

EYMR-MOGAN GÖLLERİ ARASINDA YERALTISUYU AKIM VE KÜTLE TAŞINIM MODELİ

Erkan DİŞLİ

ÖZ

Ankara ilinin güneyinde yer alan Gölbaşı ilçesinde gelişme gösteren endüstriyel tesislere (metal, maden vb.) ve yerleşim birimlerine ait atık sular arıtma işleminden geçirilmeksizin doğrudan Mogan ve Eymir gölleri ile gölleri besleyen derelere boşaltılmaktadır. Bu durum su kaynaklarında hızlı bir şekilde kirlenmeye neden olmaktadır. Özellikle Mogan Gölü'nde meydana gelen kirlenme Eymir Gölü'nü ve iki göl arasında yer alan Kuvaterner yaşlı alüvyon çökellerden oluşan hidrojeolojik sistemi kalite açısından etkilemektedir. Çalışma alanında değişik boyutlarda görülmeye başlayan kirlenme, su kaynaklarında kalite, insan sağlığı açısından ise günümüz ve gelecek için uzun dönemli riskler oluşturmaya başlamıştır. Bundan dolayı iki göl arasında yer alan inceleme alanında hidrojeolojik yapıyı tanımlamak ve bu yapı içerisinde gerçekleşen yeraltısuyu akım ve kütle taşınım hareketini denetleyen fiziksel ve kimyasal parametreleri belirlemek amacı ile arazide sondaj, gözlem, örnekleme; laboratuvar koşullarında ise deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak kirleticilerin hidrojeolojik sistemdeki hareketi sırasında konuma ve zaman bağlı olarak neden olduğu kirlenme matematiksel 3 boyutlu akım ve taşınım modelleri ile ortaya konulmuştur.

İki göl arasında yer alan inceleme alanında birimlerin düşey ve yanal yöndeki dağılımlarını belirlemek amacı ile 10 farklı lokasyonda ve değişik derinliklerde sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bununla beraber hidrojeolojik sistemdeki YAS değişimini gözlemek ve yeraltısuyundan örnekleme alabilmek amacı ile açılan sondaj kuyularına PVC plastik borular yerleştirilmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında alınan karot örneklerine ait jeohidrolojik ve taşınım parametreleri belirlemek amacı ile laboratuvar koşullarında deneyler yapılmıştır. Yapılan tane boyu analizleri sonucunda alüvyon çökellerin kil, siltli killi tın, kumlu tın, tınlı kum, siltli tın ve kum (USDA, 1972) olmak üzere 6 farklı hidrolik birimden oluştuğu ve heterojen bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Gözlem ve deneyler sonucunda hidrojeolojik sistemde yeraltısuyu akım hareketinin (Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru) çok düşük

hızda ($i \leq 0.0012$) ve hidrolik iletkenliği düşük ($10^{-8} \leq K \leq 10^{-10}$ m/s) kumlu, siltli ve killi birimler içerisinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Heterojen bir yapı gösteren inceleme alanı düşey akım bileşeni de dikkate alınarak 11 model katmanına bölünmüştür. Her bir model katmanı, hidrojeolojik birimlerin göstermiş oldukları litolojik özelliklere göre 6 farklı zona ayrılmıştır. Her zon kendi içerisinde homojen hidrolik parametreler ile temsil edilmiştir.

Potansiyel su kaynaklarında mevcut su kalitesi belirlemek amacı ile yüzey ve yeraltısuyundan değişik aylarda örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu örneklerde yapılan kimyasal analizler sonucunda su kaynaklarında ağır metaller ve azotlu organik kirleticiler olmak üzere iki farklı kirletici grubu tesbit edilmiştir. Bu kirleticilerden ağır metaller (Cu, Zn, Ni, Mn ve Fe) örnekleme yapılan bütün lokasyonlarda değişik derişimlerde gözlenirken azotlu organik kirleticiler (NO_3^- ve NH_4) ise bazı lokasyonlarda kesikli olarak gözlemlendiği belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılması planlanan üç boyutlu kütle taşınım modelinde kirleticilerin toprak ile tepkimeye girme önceliği dikkate alınarak Cu, Zn ve Mn ağır metallerinden oluşan çok bileşenli (multi-component) kirletici grubunun taşınım hareketinin sistem içerisindeki yayılımı konuma ve zaman bağılı olarak belirlenmiştir. Bu amaçla gözenekli ortamın katı matriksi ile kirleticiler arasında meydana gelen tutulma izoterm modeli her bir litolojik birim ve kimyasal tür için tanımlanmıştır. Yapılan tutulma deneyleri sonucunda YKD koşullarında Cu ağır metali doğrusal, Zn ve Mn ağır metallerinde ise genelde doğrusal olmayan izoterm modelleri (Langmuir ve Freudlich) gözlenmiştir. Toprak örneklerinde yapılan tutulma deneyleri sonucunda ağır metallerden Cu ait K_d değeri kil biriminde maksimum (32550.350 l/kg) tınlı kum biriminde ise minimum (18170.76 l/kg) olduğu belirlenmiştir. Zn matelinde maksimum tutma kapasitesi (β) değeri kil biriminde maksimum (10985.148 mg/kg), siltli tın biriminde minimum (8597.14 mg/kg), Mn da ise kil biriminde maksimum (7587.391 mg/kg) tınlı kum birimde ise minimum (4908.695 mg/kg) değrleri aldığı hesaplanmıştır. Cu, Zn ve Mn için taşınım modelleri tutulma olmak sızın ve tutulmanın gözlemlendiği koşullarda olmak üzere iki farklı aşamada çalıştırılmıştır. Birinci aşama sonucunda kirleticiler advectif ve dispersif süreçlere bağılı olarak hidrojeolojik istemde zaman bağılı olarak yayılım göstermişlerdir. İkinci aşama sonucunda ise kirletici kaynak

konumunda olan Mogan Gölü'nden sisteme nüfuz eden Cu, Zn ve Mn metalleri K_d parametresine bağlı olarak doğal akım koşulları altında hidrojeolojik sistemde $Cu > Zn > Mn$ şeklinde bir tutulma göstermektedir. Kütle taşınım modelinde kirlетici kaynak durumunda yer alan Mogan Gölü'nde kirlетici derişimleri ilk 30 yıl boyunca sabit, 100 gr/m^3 ve diğer bir 30 yıllık zaman periyodunda ise 0 olarak kabul edilmiş, kirlетicilerin hidrojeolojik sistemde neden olabileceği kirlenmenin konuma ve zaman göre etkisi kestirilmeye çalışılmıştır. Kütle taşınım modelinde 60 yıl içerisinde katı matris tarafından yaklaşık $2 \times 10^8 \text{ gr}$ Cu tutulmuş ve bu zaman dilimi boyunca Eymir Gölü'ne ulaşan Cu miktarı ise yaklaşık 0.062 gr olarak hesaplanmıştır. 60 yıl sonunda Eymir Gölüne ulaşan Zn ve Mn miktarları ise Cu'a göre çok daha fazla ($\sim 4200 \text{ gr}$) olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mogan Gölü, hidrojeolojik sistem, heterojenite, yeraltısuyu kirliliği, ağır metal, izoterm modelleri, paylaşım katsayısı, dispersivite, MF2K-GWT, MT3DMS.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Levent TEZCAN, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.

MODELING OF GROUNDWATER FLOW AND SOLUTE TRANSPORT BETWEEN EYMIİR AND MOGAN LAKES (ANKARA)

Erkan DİŞLİ

ABSTRACT

Wastewater belong to industrial plants (metal, mining, etc.) and urban areas in Golbasi County, located to the south of Ankara, have been discharged directly to Mogan and Eymir lakes or streams flowing to these lakes, without treatment. These processes have given rise to a rapid contamination in these water resources. The contamination in the Mogan Lake also affects both the Eymir Lake located to the north and the Quaternary alluvium aquifer that extends between these lakes. The magnitude of contamination observed in the study area is spatial-temporally variable and has started to pose long term risk for quality of water resources. In addition to experimental studies in laboratory conditions, drilling, observation and sampling studies in the field have been carried out to identify hydrogeological structure, physical and chemical parameters which control the groundwater flow and solute transport within the aquifer between the lakes. A three dimensional numerical flow and transport model of the alluvial aquifer system have been developed on the basis of these laboratory and field data.

Boreholes with various depths have been drilled at ten different locations of the alluvial aquifer to evaluate the distribution of horizontal and vertical direction of units. PVC filters have been placed into boreholes to observe the groundwater level in hydrogeological system and collect groundwater samples. Undisturbed samples taken from drillings have been used to determine hydraulic and transport parameters of the groundwater system. Grain size distribution analyses revealed a heterogeneous alluvial deposition medium comprising of six different hydraulic units, namely clay, silty clay loam, sandy loam, silty loam, loamy sand and sand (e.g. USDA, 1972). Field observations and laboratory data indicates that groundwater flow from Mogan Lake toward Eymir Lake is primarily occurs through sandy and silty-clayey horizons with respective hydraulic gradient and hydraulic conductivity values of $i \leq 0.0012$ and $10^{-8} \leq K \leq 10^{-10}$ m/s. Considering the observed heterogeneity and vertical flow effect, the flow domain has been divided

into 11 model layers. Each layer has been divided into 6 different hydrogeological zones according to the lithological properties of hydrogeological units.

The hydraulic parameters are assumed to be homogeneous within each zone. Based on water quality data obtained from surface and groundwater samples, two different contaminant groups comprising of heavy metals and organic nitrogen compounds have been identified. Among all contaminants, heavy metals (Cu, Zn, Ni, Mn and Fe) have been observed in all locations at varying concentrations whereas, contaminants of organic nitrogen (NO_3^- ve NH_4) have only been observed at some locations.

In the three dimensional solute transport model applied to the investigation area, the spatial-temporal spread of multi component contaminants group (i.e. Zn, Cu and Mn) has been determined depending on their respective sorptivity on the aquifer skeleton. The sorption isotherm models between the solid matrix and the contaminants have been established by means of batch and column tests for each lithologic unit and chemical species. The results of batch experiments, carried out under the local chemical equilibrium assumption, revealed a linear sorption model for Cu whereas, Zn and Mn possess a non-linear (i.e. Langmuir and Freundlich) sorption behavior. The partitioning coefficient (K_d) of Cu were found to be highest in clay unit (32550.350 l/kg) and lowest in loamy sand (18170.76 l/kg). The minimum and maximum sorption capacity (β) values for Zn were found to be in clay (10985.148 mg/kg) and in silty tin (8597.14 mg/kg) units, respectively. Similarly, clay (7587.391 mg/kg) and tinli sand (4908.695 mg/kg) units provided the maximum and minimum values for Mn. Solute transport models have been run first for the case without sorption then, run for the case where sorption is effective. In the first case, contaminants were found to spread spatio-temporally in the flow domain based on the prevailing advective and dispersive processes. In the second case, on the basis of K_d values, a sorption order of $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mn}$ were found to be effective under natural flow conditions for the contaminants entering the aquifer from the Mogan Lake. Based on a scenario that, the constant concentration of 100 gr/m^3 attributed to Mogan Lake for 30 years, following a period of 30 years of zero concentration, and the spatial and temporal distribution of the concentration in the hydrogeological system is estimated for 60 years. Mass transport model

infers that the amount of Cu to be sorbed in aquifer during the next 60 years will amount to 2×10^8 gr, while the amount of Cu arriving at the Eymir Lake would be 0.062 gr. The amounts of Zn and Mn to be arrived at the Eymir Lake at the end of 60 years simulation period are found to be 4200 gr.

Key Words: Mogan Lake, hydrogeological system, heterogeneity, groundwater contamination, heavy metal, isotherm model, partitioning coefficient, dispersivity MF2K-GWT, MT3DMS.

Advisor: Yrd.Doç.Dr. Levent TEZCAN, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Section.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder. Bu çalışma, H.Ü. Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenen 02G103 no'lu "Lisans, Lisansüstü ve Mesleki Eğitim Amaçlı Hidrojeoloji Laboratuvarların Güncellenmesi ve Geliştirilmesi" Projesi kapsamında sağlanan Mobilize Alan Araştırma Laboratuvarı (Geoprobe) sistemi uygulaması olarak gerçekleştirilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Levent Tezcan (Tez Danışmanı), çalışmanın bütün aşamalarında bilgi ve deneyimleri ile araştırma konusu ve yöntemlerin belirlenmesinde, arazi ve laboratuvar çalışmalarının gerçekleştirilmesinde, değerlendirme ve tezin oluşum aşamasında yol gösterici olmuştur.

Tez İzleme Komitesi üyeleri, Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (HÜ) ve Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (HÜ) dönem raporlarını ve sunumları özenle incelemişler ve katkıda bulunmuşlardır. Tez İzleme Komitesi üyelerinin yanı sıra Prof. Dr. Alparslan ARIKAN (HÜ), Prof.Dr. Serdar Bayarı (HÜ) ve Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (Ankara Üni.) tez metninin son şeklini almasında öneri ve yorumları ile katkı sağlamışlardır. Prof. Dr. Serdar Bayarı (HÜ) tezin çeşitli aşamalarında önerileri ile yol gösterici olmuş ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olmuştur.

Arazi çalışmaları kapsamında yapılan sondaj çalışmalarında Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümüne ait Mobil Araştırma Merkezi'nin olanaklarından yararlanılmıştır. Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (HÜ), Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN (HÜ), Hidrojeoloji Yük. Müh. Salih Orçun YALÇINKAYA, Hidrojeoloji Yük. Müh. Evren SOYLU (HÜ), Hidrojeoloji Yük..Müh. Eylem YURTSEVER, Hidrojeoloji Yük. Müh. Dilek GÜRKAN ve özellikle her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Harita Kadastro Teknikeri Bülent TOPUZ (UKAM) arazideki sondaj çalışmalarının gerçekleştirilmesi aşamasında yardımcı olmuşlardır. Ayrıca arazide yapılan diğer çalışmalar sırasında Dr. Harun AYDIN (YYÜ), Hidrojeoloji Yük. Müh. Hüseyin KARAKUŞ (HÜ), Jeoloji Müh. Özen TÜRKER (İller Bankası) ve Hidrojeoloji Yük. Müh. Devrimer YAVUZ yardımcı olmuşlardır.

Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN (HÜ-Maden Mühendisliği Bölümü) ve Doç. Dr. Yaşar Kemal ERDEM (HÜ-Gıda Mühendisliği Bölümü) laboratuvar çalışmaları sırasında laboratuvar malzemesi sağlayarak yardımcı olmuşlardır.

Laboratuvar çalışmalarının değişik aşamalarında Hidrojeoloji Yük. Müh. Eylem YURTSEVER yardımcı olmuştur.

Dr. Nur ÖZYURT (HÜ), Kimya Müh. Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ÖNCEL (HÜ) su kimyası, örneklerin hazırlanması ve örneklerle ait analizlerin değerlendirilmesi aşamasında yardımcı olmuşlardır.

Bugünkü birikimlerimin oluşmasında, maddi ve manevi katkılarından dolayı annem Zeynep DİŞLİ ve babam Mustafa DİŞLİ, kardeşlerim Ayşe DİŞLİ ve Serkan DİŞLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ivii
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	ixii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xvi
EKLER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Yöntemi ve Planı	3
1.3. Önceki Çalışmalar.....	4
1.3.1. Çalışma alanı ve çevresinde yapılan çalışmalar.....	5
1.3.2. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar	7
2. İNCELEME ALANININ ÖZELLİKLERİ VE JEOLJİK.....	17
2.1. İnceleme Alanının Tanıtılması	17
2.2. Genel Jeoloji	17
2.2.1. Mesozoyik	20
2.2.2. Senozoyik.....	23
2.2.3. Kuvaterner.....	26
2.3. Su Noktaları	26
2.3.1. Akarsular	26
2.3.2. Mogan ve Eymir gölleri.....	26
3. HİDROJEOLJİK YAPI	29
3.1. Arazi Çalışmaları.....	29

3.1.1. Sondaj çalışmaları.....	29
3.1.2. Kuyularda YAS ölçüm çalışmaları.....	31
3.1.3. Yüzey ve yeraltısuyunda su kimyası çalışmaları	33
3.1.4. Mogan Göl taban yüzeyinde çamur örnekleme çalışmaları.....	34
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	34
3.2.1. Tane boyu dağılım analizleri ve toprak sınıflandırılması	35
3.2.2. Özgül ve kuru birim hacim ağırlık deneyleri	35
3.2.3. Gözenekliliğin belirlenmesi.....	36
3.2.4. Özgül verim ve özgül tutulma deneyleri	36
3.2.5. Toprak örneklerinin organik madde içeriğinin (%OM) belirlenmesi	37
3.2.6. Hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesi.....	37
3.3. Yeraltısuyu Taşıyan Birimler ve Yayılımları.....	39
3.4. Göl-YAS ilişkisi	45
3.5. Yüzey ve Yeraltısuyu Kirlenme Potansiyeli	49
4. YERALTISUYU AKIM MODELİ.....	56
4.1. MODFLOW	56
4.2. MODFLOW-GUI.....	59
4.3. Grid Tasarımı ve Akifer Parametreleri	60
4.3.1. Sonlu farklar grid yapısı ve model katmanları.....	60
4.3.2. Hidrolik parametrelerin dağılımı	65
4.3.3. Başlangıç Koşulları ve Model Süresi	66
4.3.4. Sınır Koşulları.....	67
4.3.5. Model Kalibrasyonu.....	67
4.3.6. Duraylılık Analizi.....	70
5. TAŞINIM MODELİ.....	74
5.1. Teori	74
5.2. Toprak ve Sedimanlarda Tutulma Süreçleri	75
5.3. Tutulma İzoterm Modelleri	75
5.3.1. Denge kontrollü tutulma izoterm modelleri ve gecikme faktörü	76
5.3.2. Kinetik tutulma izoterm modelleri	79
5.4. Mogan ve Eymir Gölleri Arasındaki Hidrojeolojik Sistemde Kütle Taşınım Modeli.....	81
5.4.1. Kirlenme türünün belirlenmesi	81

5.4.2. Taşınım parametrelerinin belirlenmesi.....	88
5.4.3. Başlangıç ve sınır koşulları ile model süresi.....	95
5.4.4. Taşınım Parametrelerinin Dağılımı	97
5.4.5. Model Sonuçları	98
6. SONUÇLAR	112
7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR.....	119
EKLER	129
ÖZGEÇMİŞ	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	18
Şekil 2.2. Mogan-Eymir Gölleri Havzası genel jeoloji haritası	21
Şekil 2.3. Çalışma alanında GB-KD yönünde alınmış jeolojik kesit.....	22
Şekil 2.4. Çalışma alanında KB-GD yönünde alınmış jeolojik kesitler.....	24
Şekil 2.5. Mogan ve Eymir Gölü su seviye değişim grafiği	28
Şekil 3.1. İki göl arasında açılması planlanan kuyu yerleri.	30
Şekil 3.2. İnceleme alanında yeraltısuyu gözlemi yapılan özel ve kamu kuruluşları tarafından açılmış sondaj kuyuları.....	33
Şekil 3.3. Sediman malzemelerinin tane boyu sınıflandırılması (USDA,1972).....	36
Şekil 3.4. İnceleme alanında açılan kuyularına ait kuyu kütükleri.	41
Şekil 3.5. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında hidrolik iletkenliğin düşey yönde değişimi.....	42
Şekil 3.6. İki göl arasında kavramsal yeraltısuyu akım modeli	44
Şekil 3.7. Mogan ve Eymir gölü su seviyeleri ile kuyularda ölçülen YAS seviyeleri aylık değişim grafiği.....	46
Şekil 3.8. Mogan Gölü ile sondaj kuyularında ölçülen YAS seviyeleri arasındaki ilişki.....	47
Şekil 3.9. Eymir Gölü ile sondaj kuyularında ölçülen YAS seviyeleri arasındaki ilişki.....	49
Şekil 3.10. İnceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltısularında örnekleme yapılan lokasyonlar.....	52
Şekil 3.11. Mogan Gölü'nde ölçülen ağır metal derişimleri (ÖÇKK, 2003; Hacettepe Üniversitesi, 1998, 2005, 2006).....	53
Şekil 3.12. Mogan Gölü'nde ölçülen azotlu organik bileşikleri (ÖÇKK, 2003; Hacettepe Üniversitesi,1998,2005,2006).....	53
Şekil 3.13. Mogan Gölü'nde belirlenen ağır metallerin düşey yöndeki dağılımı (Mart 2007).....	55
Şekil 3.14. Mogan Gölü'nde belirlenen azotlu organik kirleticilerin düşey yöndeki dağılımı (Mart 2007)	55
Şekil 4.1. Alüvyal çökeltide litoloji dağılımı ve 3 boyutlu blok diyagramı.	61
Şekil 4.2. İnceleme alanında yer alan model katmanların 3 boyutlu görünümü.	62

Şekil 4.3. Model katmanlarında yer alan hidrolik birimlerin parametre zonları.	63
Şekil 4.4. Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan çalışma alanı için oluşturulan sonlu farklar gridleri.	65
Şekil 4.5. Mogan – Eymir Gölleri arasında kurulan modelin sınır koşulları	68
Şekil 4.6. 25 m x 25 m’lik grid aralıkları için elde edilen kalibrasyon grafiği	69
Şekil 4.7. 48591 nolu kuyuda hesaplanan ve gözlenen yüklerin dağılımı	70
Şekil 4.8. Yeraltısuyu akım model parametreleri hassasiyet katsayıları.....	72
Şekil 5.1. Akım yolu boyunca kirletici madde ile katı faz arasında meydana gelen kimyasal ve fiziksel süreçler.	77
Şekil 5.2. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen ağır metaller (Ağustos, 2005; Ekim 2005).	84
Şekil 5.3. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen ağır metaller (Aralık, 2005; Mart, 2006).	85
Şekil 5.4. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen azotlu organik kirleticiler (Ağustos, 2005; Ekim 2005).	86
Şekil 5.5. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen azotlu organik kirleticiler (Aralık, 2005; Mart, 2006).	87
Şekil 5.6. Hidrojeolojik sistemin taşınım açısından değerlendirilmesi.	88
Şekil 5.7. Bakır (Cu) ile toprak örneği (kil) arasında meydana gelen tutulma süreci sırasında çözeltideki derişimin zamana bağlı değişimi.	90
Şekil 5.8. Tutulma sırasında sıvı fazdaki Cu derişiminde zamana bağlı olarak meydana gelen değişim	92
Şekil 5.9. Kütle taşınım modelinde tanımlanan başlangıç koşulları.....	96
Şekil 5.10. Kütle taşınım modelinde tanımlanan sınır koşulları	97
Şekil 5.11. Tutulma olmaması durumunda Mogan Gölü’nden akifer sistemine karışan ve Eymir Gölü’ne ulaşan kütle miktarı (gr)	98
Şekil 5.12. Mogan ve Eymir gölleri arasında kirleticilerin tutulmaya uğramaması halinde a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra derişim dağılımı (gr/m^3) (logaritmik ölçek)	100
Şekil 5.13. Mogan Gölü ile Eymir Gölü arasında tutulan ve bırakılan Cu, Mn ve Zn kütleleri	101

Şekil 5.14. Mogan ve Eymir Gölleri arasında doğrusal izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Cu'ın a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra çözelti derişim dağılımı (logaritmik ölçek).....	102
Şekil 5.15. Mogan ve Eymir gölleri arasında tutulan Cu derişiminin (gr) a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek).....	103
Şekil 5.16. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Cu kütle miktarının zamana göre değişimi	105
Şekil 5.17. Model hücrelerinde çözelti halinde bulunan Cu derişiminin zaman içerisinde azalımı.....	105
Şekil 5.18. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Zn kütle miktarının zamana göre değişimi	106
Şekil 5.19. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Mn kütle miktarının zamana göre değişimi	106
Şekil 5.20. Mogan ve Eymir Gölleri arasında Langmuir izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Zn'un a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra derişim dağılımı (logaritmik ölçek)	107
Şekil 5.21. Mogan ve Eymir Gölleri arasında tutulan Zn derişiminin a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek).....	108
Şekil 5.22. Mogan ve Eymir Gölleri arasında Langmuir izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Mn'ın a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra derişim dağılımı (logaritmik ölçek)	109
Şekil 5.23. Mogan ve Eymir Gölleri arasında tutulan Mn derişiminin a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek).....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Ağustos-2005 döneminde arazide açılan sondaj kuyularına ait özellikler	31
Çizelge 3.2.Hidrolik birimlere ait jeohidrolojik parametre değerleri.....	38
Çizelge 3.3 Permeametre deneyinde kullanılan kolonlar.....	39
Çizelge 3.4.TS 266 (29 Nisan 2005-TES) göre insani tüketim amaçlı sularda olması gereken maksimum limit değerleri (ppm).....	54
Çizelge 4.1.Hidrolik birimlere ait kod değerleri.....	60
Çizelge 4.2.Zon bölgelerinin hidrolik parametre değerleri.	64
Çizelge 4.3. Optimizasyon sonucunda zon bölgelerini için kestirilen hidrolik parametre değerleri.....	70
Çizelge 5.1.Tutulma deneyleri sonucunda hidrolik birimlerde belirlenen tutulma parametrelerine ait ortalama değerler.....	93
Çizelge 5.2.Kolon deneyleri sonucunda hesaplanan taşınım parametreleri	94

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Foto 2.1. Çalışma alanında yer alan regülatör (a), beton drenaj kanal (b), bataklık girişi (c) ve bataklık alan (d).....	19
Foto 3.1. Geoprobe sistemi ve inceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları.	29
Foto 3.2. Sondaj kuyularından plastik koruyucular ile toprak örneklerinin alınması ve yüzeyden itibaren inilen derinlik sırasına göre örneklerin kodlanması işlemi.	32
Foto 3.3. Arazide açılan sondaj kuyularına YAS değişimini gözlemek amacı ile PVC borularının yerleştirilmesi.....	32
Foto 3.4. Toprak örneklerinin arazideki lokasyon ve derinliklerine göre düzenlenmesi.	34
Foto 3.5. Hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesinde kullanılan kolon düzenekleri.	39
Foto 3.6. Çalışma alanını KB-GD yönünde sınırlandıran ve Gölbaşı Formasyonu' nu (Tg) oluşturan geçirimsiz marn birimi (Bkz. Şekil 3.1).	45
Foto 3.7. Mogan ve Eymir göllerinde kirlenmeye neden olan etkenler (ÖÇKK, 2003).	51
Foto 5.1. Toprak örneklerinin soğuk su banyosunda korunması	90

EKLER DİZİNİ

Sayfa

Ek 1: Çalışma alanında özel ve kamu kuruluşları tarafından açılan sondaj kuyularında yapılan YAS ölçümleri (m) (Eylül 1999-Mart 2006)	130
Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler (Ağustos-2005)	134
Ek 3: Toprak örneklerine ait tane boyu analiz grafikleri	140
Ek 4: Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda toprak örneklerine ait hesaplanan parametre değerleri	144
Ek 5: Toprak örneklerinde kirleticilere (Cu, Zn, Mn) ait tutulma izoterm modelleri	144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASKİ	Ankara Su ve Kanalisasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
Argus-ONE	Argus - Open Numerical Environments
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
GITT	The generalized integral transform technique
MF2K-GWT	MODFLOW 2000 - Groundwater Transport Processes
MOC	Method of Characteristics (Two-dimensional method of characteristics ground-water flow and transport model)
MOC3D	Three-dimensional method of caharacteristics ground water flow and transport model
MODFLOW-GUI	Preprocessor and postprocessor graphical-user interfaces for preparing MODFLOW-96 and MOC3D input data and viewing model output for use within Argus Open Numerical Environments
MODFLOWP	Parameter Estimation Version of the Modular Model
MOM	Method of temporal moments
MIM	Mobile-immobile
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MT3D	Modular three-dimensional transport model
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ÖÇKK	Özel Çevre Koruma Kurumu
SOTS	Second order two-site mode
UKAM	Hacettepe Üniversitesi-Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi
YAS	Yeraltısuyu seviyesi

YKD	Yerel kimyasal denge koşulları
α	Dispersivite katsayısı (L)
α_L	Boyuna dispersivite katsayısı (L)
D	Hidrodinamik dispersiyon katsayısı ($L^2 T^{-1}$)
R_f	Gecikme faktörü (boyutsuz)
θ_{im}	Durağan bölgenin gözenekliliği (boyutsuz)
θ_e	Etkin gözeneklilik (boyutsuz)
K_d	Paylaşım veya dağılım katsayısı ($L^3 M^{-1}$)
V_x	Yeraltısuyu akım hızı ($L T^{-1}$)
K	Hidrolik iletkenlik katsayısı ($L T^{-1}$)
G_s	Özgöl ağırlık (boyutsuz)
ρ_b	Kuru birim ağırlık (ML^{-3})

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Dünya coğrafyasında, son yüzyılda gözlenen plansız ve hızlı kentleşme, endüstri ve tarım alanlarında kullanılan kimyasal maddeler, sera gazlarının atmosferdeki artışına bağlı olarak iklim koşullarında meydana gelen değişimler, yerel ve bölgesel ölçekte su kaynaklarını miktar ve kalite açısından kullanılabilirlik kriterini önemli derecede tehdit etmeye başlamıştır. Özellikle, endüstriyel ve evsel atık kökenli kirletici maddelerin düzenli veya düzensiz olarak yüzey/yüzey altında depolanması, su kütlelerine (göl, akarsu, deniz vb.) bilinçli/bilinçsiz boşaltılması ve tarım alanlarında kullanılan kimyasal maddelerin sulamadan/yağıştan dolayı yeraltına sızması sırasında meydana gelen süreçler su kaynaklarında kirlenmeye neden olan tehdit unsurlarıdır. Bu süreçlerden dolayı dünya genelinde kullanılabilir su kaynakları kontrolsüz bir şekilde azalmakta ve su yoksulluğu giderek artış göstermektedir. Buna ek olarak 20. yüzyılda dünya nüfusu 19.yüzyıla oranla üç kat artmasına rağmen sürdürülebilir kalkınma için en önemli yaşamsal kaynaklardan biri olan su kaynaklarının kullanımının altı kat arttığı belirlenmiştir (WSSD, 2002). Bütün bu çalışmalar gösteriyor ki yakın bir gelecekte dünya ülkelerinin en önemli sorunlarından birinin “*yeterli kalite ve miktarda içme ve kullanma suyunun temini*” olacağı anlamına gelmektedir.

Ülkemizde özellikle sanayi kuruluşlarına ait atıklar ve tarım alanlarında kullanılan kimyasal maddeler su kaynaklarında kirliliğe ve dolaylı olarak yine su kirliliğine bağlı, toprak ve bitki örtüsü üzerinde aşırı kirlenmelere neden olduğu ve bundan dolayı da hızlı bir şekilde çevresel kirliliğe yol açtığı bilinmektedir. Ankara ilinin güneyinde yer alan Gölbaşı ilçesindeki su kaynaklarında da benzer süreçlerden dolayı çevre ve kullanım sorunları etkisini göstermeye başlamıştır (ASKİ, 1995).

Gölbaşı ilçesinde gelişme gösteren endüstriyel tesislere (metal, maden vb.) ve yerleşim birimlerine ait atık sular arıtma işleminden geçirilmeksizin doğrudan Mogan ve Eymir gölleri ile bu gölleri besleyen derelere boşaltılmaktadır. Bu da su kaynaklarında hızlı bir şekilde kirlenmeye neden olmaktadır. Kirlenme iki göl arasındaki hidrodinamik ilişkiden (Mogan Gölü’nden Eymir Gölü’ne doğru) dolayı göl suları ile sürekli etkileşim halinde olan gözenekli ortamı ve ortamdaki yeraltısuyu kalitesini de dolaylı olarak etkilemektedir. Bundan dolayı Mogan ve

Eymir gölleri arasında yer alan çalışma alanında değişik boyutlarda görülmeye başlayan kirlenme, su kaynaklarında kalite ve insan sağlığı açısından günümüz ve gelecek için uzun dönemli riskler oluşturmaya başlamıştır

Çalışma alanında Mogan Gölü'ndeki kirleticiler iki göl arasında yer alan gözenekli ortamda hareket ederken, kirleticisi-katı faz, kirleticisi-taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistem-katı faz arasında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik tepkimelerden etkilenmektedir. Yüzey altında meydana gelen bu tepkimeler sistemi oluşturan birimlerin sedimentolojik özelliklerine bağlı olarak tutulma veya soğrulma, yeraltısuyunda ise difüzyon veya dispersiyon şeklinde etkisini göstermektedir. Özellikle, kirleticisi-katı faz arasında oluşan tepkimeler sonucunda kirleticiler katı taneleri oluşturan minerallerin yapısında bulunan fiziksel ve kimyasal kuvvetlerle tutulmaya maruz kalmaktadır. Tutulma olarak tanımlanan bu süreçler sırasında gözenekli ortamda kirleticisi maddeler yeraltısuyu akım hızına göre çok daha yavaş hareket etmekte, bu durum gözenekli ortamdaki kirleticisi taşınım hareketinde gecikmeye (retardasyon) neden olmaktadır. Bu etki, kirleticisi maddenin hidrojeolojik sistem içerisindeki hareketini ve kalış süresini denetleyen en önemli parametredir. Buna ek olarak hidrojeolojik sistemde hidrolik eğimin çok düşük olması ($i \leq 0.0012$) ve taşınım hareketinin hidrolik iletkenliği düşük ($10^{-8} \leq K \leq 10^{-10}$ m/s) killi, siltli birimlerde meydana gelmesi taşınım sürecinin daha yavaş bir şekilde oluşmasına neden olmaktadır. Bütün bu etkenlerden dolayı kirleticisinin sistemdeki tutulma etkisi maksimum seviyede gerçekleşmektedir.

Bu durumda Mogan Gölü'nden temizlenmesi durumunda dahi gözenekli ortamdaki kirleticiler yukarıda değinilen süreçlerden dolayı yeraltısuyunda ve Eymir Gölü'nde etkilerini uzun dönemli olarak göstermeye devam edecektir.

Bu tez çalışması kapsamında iki göl arasında yer alan gözenekli ortamdaki yeraltısuyu akım hareketi sonlu farklar yeraltısuyu akım modeli MODFLOW-2000 (Modular three-dimesional finite-difference groundwater flow model) (Harbaugh et al., 2000) ile benzeştirilmiştir. Kirleticisi hareketi sırasında meydana gelen advectif, dispersiyon ve tutulma süreçleri ise üç boyutlu kütle taşınım modeli MT3DMS (Zheng et al, 1999) model programı kullanılarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, akifer sisteminde katı faz tarafından tutulan kirleticinin gecikme etkisine hangi başlangıç ve sınır koşulları altında sistemden tamamen uzaklaştırılması ve bunun için gerekli zaman sürecinin tanımlanması üç boyutlu kütle taşınım modeli (MT3DMS) ile ortaya konmuştur.

1.2. Çalışma Yöntemi ve Planı

Tez çalışması kapsamında oluşturulan teknik yaklaşım, arazi, laboratuvar çalışmaları ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin üç boyutlu yeraltı suyu ve kütle taşınım modellerinde değerlendirilmesi şeklinde olmak üzere üç farklı aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama olan arazi çalışması, Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan hidrojeolojik sisteme ait kavramsal modelin ortaya konulması ve akiferde meydana gelen kirlenmenin türünün ve kökeninin belirlenmesine yönelik olmak üzere, iki farklı amaç doğrultusunda yapılmıştır. Birinci amaç doğrultusunda göller arasında yer alan akifer sisteminde gerçekleşen yeraltısu akım hareketinin hidrodinamik yapısını ve yüzeysuları (göller, bataklık) ile olan ilişkisini belirlemek amacı ile iki göl arasında değişik lokasyonlarda sondaj kuyuları açılmıştır. Sondaj çalışmaları sırasında gözenekli ortama ait jeohidrolojik ve taşınım parametrelerinin belirlenebilmesi için hidrojeolojik yapının düşey ve yanal yöndeki dağılımını temsil edecek şekilde karot örnekleri alınmıştır. Akiferin doymun kalınlığı boyunca örnekleme yapılırken akifer parametrelerinin heterojen özelliğini ortaya koyacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Böylece heterojen ortamlarda kirletici derişiminde meydana gelen süreçleri tanımlarken kirlenmenin meydana geldiği doymun ortamı oluşturan birimlerin jeohidrolojik özelliklerine göre alt serilere ayırmak daha kolay olmuştur. Aynı zamanda, akifer sistemindeki yeraltısu akım yönünü belirlemek ve yeraltısu seviye (YAS) değişimlerini gözlemek amacı ile açılan sondaj kuyularına filtreli PVC borular yerleştirilmiştir. Değişik aylarda özel veya kamu kuruluşları tarafından açılan kuyularda YAS ölçümleri yapılmıştır.

Arazide yerinde yapılan ölçümlerden ve kuyu loglarından yararlanılarak yeraltı yapısı, yeraltısu akım yönü, beslenme ve boşalım alanlarının yayılımı ve sınır koşulları, yeraltısu dolaşım zonları ve bu zonları sınırlandıran geçirimsiz-yarı geçirimli birimlerin üç boyutlu geometrik dağılımları belirlenmiştir. İkinci amaç kapsamında ise çalışma alanı genelinde yer alan su kaynaklarında mevcut su

kalitesini, toprak ve yeraltısuyunda kirlenmeye neden olan kirleticileri (ağır metal, azotlu organik kirleticiler vb.) tanımlayabilmek amacı ile değişik dönemlerde su örneklemeleri yapılarak yerinde fiziksel parametreler (pH, CO_2 , T, E_h , tuzluluk vb.) ölçülmüştür.

İkinci aşamada yeraltısuyu akım hareketini ve kirleticisi maddenin akifer sistemi içerisindeki taşınım mekanizmasında etkin fiziksel ve kimyasal süreçleri tanımlamada kullanılan parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla arazide farklı lokasyon ve derinliklerden alınan toprak örneklerinde taşınım ve jeohidrolojik parametrelerini belirlemek amacı ile laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır. Taşınım parametrelerinin belirlenmesinde kolon ve tutulma (batch) yöntemleri uygulanmış ve bu deneylerde korunumlu ve reaktif olmak üzere iki farklı izleyici kullanılmıştır. Konservatif izleyiciler gözenekli ortamlarda kimyasal, fiziksel ve biyolojik tepkimelerden etkilenmediklerinden yeraltısuyu akım hızı (V_x), hidrolik iletkenlik (K) ve dispersivite (α) parametrelerin hesaplanmasında, reaktif izleyiciler ise toprak zonunda meydana gelen tutulma sürecini tanımlamada kullanılan izoterm tutulma modelinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte araziden alınan toprak örneklerine ait jeohidrolojik parametreler (gözeneklilik, tane boyu dağılımı, özgül verim, özgül tutulma vb.) laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Yüzey ve yeraltısularından alınan örneklerde ise majör iyonlar (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} , Cl^- ,) ağır metaller (B, Pb, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Li, Al, Br, As) ve kirlilik parametreleri (NO_2 , NO_3 , NH_3 , PO_4) için kimyasal analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda yüzey ve yeraltısuyunda kalite bakımından bozulmaya neden olan kirleticiler belirlenmiştir.

Son aşama olan üçüncü aşamada ise birinci ve ikinci aşama sonunda elde edilen veriler iki göl arasındaki gözenekli ortamdaki gerçekleşen yeraltısuyu akım ve taşınım süreçleri üç boyutlu matematiksel model programları kullanılarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Doktora tez çalışması kapsamında, alan ve konu ile ilgili yapılan literatür çalışmaları iki farklı süreç altında incelenerek sınıflandırılmıştır. Birinci süreçte bölge genelinde yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve hidrolojik çalışmalar kendi içinde, ikinci süreçte ise tez kapsamında çalışma alanında gözlemlenen problemin

tanımlanmasında ve çözümünde kullanılacak olan yöntemin uygulanmasına yönelik çalışmalar incelenmiştir.

1.3.1. Çalışma alanı ve çevresinde yapılan çalışmalar

Gürel vd. (1980) tarafından Mogan ve Eymir gölleri çevresinin arazi kullanım potansiyelinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olup bu çalışma sonucunda alanın jeomorfolojik özellikleri tanımlanarak jeoloji, toprak, eğim ve arazi kullanım haritaları hazırlanmıştır.

Kalkan vd. (1992), Eymir ve Mogan gölleri drenaj alanının jeoloji-jeomorfoloji ve hidrojeoloji özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda Eymir ve Mogan göllerinin koruma zonları, beslenme alanları, su kaynakları belirlenmiş ve Gölbaşı havzasına ait 1:25.000 ölçekli jeolojik harita alımı gerçekleştirilmiştir.

Arıgün vd. (1995) tarafından Eymir ve Mogan gölleri çevresinde yer alan birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda Kuvaterner yaşlı alüvyon akiferlerde yapılan pompa deneylerinden elde edilen düşüm-zaman verilerinin değerlendirilmesi sonucunda iletimlilik katsayısı, $6.39 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; hidrolik iletkenlik katsayısı ise $4.37 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ olarak hesaplanmıştır.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından Ankara İli'nin Çevre Jeoloji ve Doğal Kaynakları projesi kapsamından 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış ve bölge genelindeki birimlerin korelasyonu yapılarak tek bir istif altında sunulmuştur (Akyürek vd. 1997).

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ile Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ) tarafından “Gölbaşı Mogan-Eymir Gölleri İçin Su Kaynakları ve Çevre Yönetim Planı Projesi” isimli proje kapsamında Mogan-Eymir göllerine ait özel koruma bölgesi için altyapı master planı ve su kaynaklarının yönetim planının geliştirilmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında mevcut bölgenin topoğrafik, meteorolojik, hidrolojik, jeolojik, hidrojeolojik ve göllerin batimetrik özellikleri araştırılmıştır. Proje alanında Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan hidrojeolojik sistem ile göller arasındaki hidrodinamik ilişkinin belirlenmesi amacı ile değişik derinliklerde araştırma amaçlı

sondaj kuyuları açılmıştır. Bu kuyularda ve göllerdeki yeraltısuyu ve yüzey suyu seviyelerindeki değişimin belirlenmesi amacı ile ölçümler alınmış, göl ve yeraltısuyundaki kirlilik durumunun belirlenebilmesi için su kimyası çalışmaları yapılmıştır (Altınbilek, 1995).

Özaydın (1997), Oksijen-18 ve Döteryum izotop kütle denge yöntemini kullanarak Mogan ve Eymir göllerine ait su bütçelerini oluşturmuş, göllere olan yeraltısuyu girdisini ve göllerden yeraltısuyuna olan beslenim miktarlarını hesaplamıştır. Çalışma kapsamında 1994 ve 1995 yıllarında Mogan Gölü'ne yeraltısuyu girdisi ortalama 13.39×10^6 ve 2.71×10^6 m³, gölden yeraltısuyuna olan boşalım ise ortalama 8.92×10^6 ve 1.27×10^6 m³, Eymir Gölü'ne yeraltısuyu girdisi ortalama 6.7×10^6 ve 1.94×10^6 m³, gölden yeraltısuyuna olan boşalım ise 5.79×10^6 ve 0.87×10^6 m³ olarak belirlenmiştir. Mogan Gölü'nün kuzey ve güneyinde yer alan kuyulardaki yeraltısuyuna ait izotop sonuçları gölün her iki yakasında yeraltısuyu hareketinin göle doğru olduğunu göstermiştir.

Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) (1998) tarafından Mogan Gölü'ndeki kirliliğin başlıca kaynağını oluşturan dip çamuru kirlilik düzeyinin ve temizleme yöntemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

1998 yılında Özel Çevre Koruma Kurumu (ÖÇKK) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) arasında yapılan protokol kapsamında Mogan ve Eymir gölleri Havzasının hidrometeorolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda göllere ait hidrolojik bütçelerin oluşturulması amacı ile Mogan ve Eymir Gölleri Havzası içerisinde yer alan meteoroloji istasyonları ve gölleri besleyen akarsularda 1999 – 2004 yılları arasında aylık meteorolojik ve hidrolojik değişkenler ölçülmüştür. Ayrıca göllerdeki su kalitesinin belirlenmesi için aylık su kimyası örnekleme ve iki göl arasında yer alan sondaj kuyularında ise YAS ölçümleri yapılmıştır (Küçük ve Angı, 2005).

Yurtseven (2006) Mogan ve Eymir gölleri arasındaki hidrojeolojik birimlerin nitrat ve fosfat kirlenici taşınım parametrelerinin belirlenmesi amacı ile tutulma deneyleri yapmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda nitratın doğrusal tutulma modeline fosfatın ise Langmuir tutulma modeline uyum gösterdiği belirlenmiştir.

1.3.2. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar

Yeraltısuyu akım sistemlerinde kütle taşınımı ile ilgili ilk çalışmalar Jost (1952) ve Scheidegger (1954, 1957 ve 1958) tarafından yapılmıştır. Daha sonra bu çalışmalardan yararlanılarak yeraltısularında kullanılan izleyici ve/veya kirletici maddenin gözenekli ortamdaki hareketini ifade eden analitik ve kısmi diferansiyel eşitlikler (Lapidus ve Amudsen, 1952; Ogata ve Banks, 1961; Reddell and Sunada, 1970; Bear, 1972; Bredehoeft and Pinder, 1973; Konikow and Grove, 1977; Freeze and Cherry, 1979) geliştirilmiştir.

Lapidus and Amudsen (1952), gözenekli ortamlarda katı matriks ile kimyasal çözelti arasında oluşan tutulma süreçlerini tanımlamak amacı ile laboratuvar ortamında kolon ve batch deneyleri yapmışlardır. Yapılan bu çalışmalar sırasında kimyasal çözelti ile katı matriks arasında oluşan etkileşim süreçlerinde yerel kimyasal denge koşullarının (YKD) sağlandığı kabul edilmiş ve bu süreçleri tanımlamada doğrusal tutulma izoterm modeli kullanılmıştır.

Coats and Smith (1964) ve van Genuchten and Wierenga (1977) tarafından yapılan çalışmalarda katı matriks ile kimyasal çözelti arasında etkileşim tepkimelerine bağlı olarak gelişen fiziksel dengesizlik veya kinetik tutulma izoterm süreçlerini tanımlamak amacı ile hareketli-durağan (mobile-immobile, MIM) model yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda toprak suyu; durağan ve hareketli fazlar olmak üzere iki alt bölgeye ayrılmış, durağan bölgelerde difüzyif taşınımın ve hareketli bölgelerde ise advectif taşınımın baskın olduğu kabul edilmiştir. Bu yöntem birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda başarılı bir şekilde uygulanmıştır (van Genuchten and Wierenga 1976; Parker and van Genuchten, 1984; Vancloostre et al., 1992).

Gelhar and Collins (1971), Smith and Schwartz (1980) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, dispersivite katsayısının (α) ortamın heterojen özelliğine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Laboratuvar koşullarında yapılan deney ve gözlemler sonucunda hesaplanan α katsayısı santimetre boyutunda ifade edilirken arazi çalışmalarında bu katsayı ölçeğe bağlı olarak binlerce metre değerinde olabilmektedir. Örneğin laboratuvar koşullarında yapılan kolon deneyleri sonucunda boyuna dispersivite (α_L) değerinin 10^{-2} ile 10^{-4} m arasında değiştiği, büyük ölçekli kirlenmiş heterojen kumlu ve çakıllı akiferlerde değişik izleyiciler

kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemleri sonucunda ise α_L değerinin 1 ile 100 m arasında değişen değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Cho (1971) ve Valocchi (1985), kütle taşınım çalışmalarında kolon deneyleri sonucunda elde edilen derişim-zaman ($C(t)/(C(t_0-t))$) grafiğine ait ilerleme eğrisinin değerlendirilmesinde istatistiksel bir yaklaşım olan zamansal moment yöntemini (MOM, method of temporal moments) geliştirmişlerdir. Bu yöntem, konservatif izleyici gözenek suyu hızı ve dispersiyon katsayısının (Maloszewski et al., 1994; Pang et al., 1998; Yu et al., 1999), dengeli ve dengesiz taşınım modellerinde ise gecikme faktörünün belirlenmesi (Jacobsen et al., 1992; Ptak and Schmid, 1996; Rubin et al., 1997) amacı ile kullanılmıştır. Das and Kluitenberg (1996) yapmış oldukları çalışmalarda zamansal moment yöntemlerinde tutulmanın doğrusal ve yenilenebilir olduğunu, gözenekli ortamın homojen olması durumunda ise yerel denge koşullarının kendiliğinden gerçekleştiğini varsaymışlardır.

Forbes et al. (1974) tarafından farklı pH koşullarında bir tür kil türü olan montmorillonitlerde tutulma sürecini tanımlamak amacı ile batch deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde pH değeri 3 ve 3 ten büyük olan çözeltiler ve bu çözeltilerde ilksel derişim değeri 1×10^{-3} M olan ağır metal çözeltileri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda toprak örneğindeki tutunma miktarında çözeltinin pH 3 olduğunda $Pb^{+2} > Cd^{+2} > Zn^{+2} > Cu^{+2}$ ve pH>3 olması durumunda ise $Pb^{+2} > Cu^{+2} > Zn^{+2} > Cd^{+2}$ şeklinde bir sıralanma belirlenmiştir. Toprak örneğindeki bu sıralanma karışımın pH değerine, toprak örneğinin tane boyu değişimine ve ağır metallerin kimyasal özelliğine bağlı olduğu gözlenmiştir.

Selim et al. (1976), Selim (1992) ve Chen and Wagenet (1997) homojen ortamlarda organik kirleticilerin yanısıra inorganik kirleticilerin taşınım hareket özelliklerini kestirebilen matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Daha sonra bu modeller değişik araştırmacılar (Wierenga and van Genuchten, 1989; Vanclooster et al., 1993) tarafından doygun akım koşullarında homojen kum kolonlarında gerçekleşen kimyasal maddelerin taşınım ve tutumla süreçlerinin kestirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Konikow (1977); Konikow and Thompson (1984), kütle taşınım modellerinde çok geniş kullanım alanına sahip olan ve adveksiyon-dispersiyon eşitliği temeline bağlı

MOC modelini Rocky Mountain-Arsenal'de korunumlu yeraltısuyu kirleticilerinin hareketinin modellenmesinde büyük başarı ile kullanmışlardır.

Relyea (1982), paylaşım katsayısına ait (K_d) değerin belirlenmesi amacıyla yapmış olduğu kolon deneyleri sonucunda gecikme faktörünün (R_f), ortalama yeraltısuyu akım hızına (V_x) ve kolon boyutlarına bağlı olarak değişim gösterdiğini belirlemiştir. Kolon ölçülerinin küçük ve yeraltısuyu akım hızının yavaş olduğu durumlarda kütle taşınım mekanizmasında difüzyon hareketinin majör etken süreç olduğunu ve bu durumun R_f ve K_d değerlerinde azalmaya neden olduğunu gözlemiştir. Bununla birlikte yeraltısuyu akım hızının büyük olması durumunda izleyici ile katı taneler arasında kimyasal denge oluşmadığından hesaplanan R_f değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Parker and van Genuchten (1984), laboratuvar koşullarında kütle hareketini tanımlamada kullanılan taşınım parametrelerinin belirlenmesinde en küçük kare optimizasyon yöntemini kullanan CXTFIT bilgisayar modelini geliştirmişlerdir. CXTFIT programında tek boyutlu advektif dispersiyon taşınım denkleminin analitik çözüm yöntemi kullanılmakta, hidrodinamik dispersiyon katsayısı (D) ve gecikme faktörü (R_f) gibi taşınım parametreleri de belirlenmektedir.

Gelhar et. al., (1985) dünya üzerine 55 farklı yerde yaptıkları arazi deneyleri sonucunda α_L değerinin deney ölçeğine bağlı olarak 0.01 m ile 5500 m arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, α katsayısının kütle hareketinin meydana geldiği ölçeğe veya gözenek hacmine bağlı olarak arttığını göstermektedir.

Bahr and Rubin (1987) yapmış oldukları çalışmalarda belirli ilksel ve sınır koşulları altında akım alanı içerisinde herhangi bir zamanda ve konumda ölçülen tutulma miktarının ($S^*(x,t)$) yerel kimyasal denge (YKD) koşullarında meydana gelen tutulma miktarına ($S(x,t)$) oranı olarak tanımlanan $\xi_x(t)$ parametresinin 1 olması durumunda YKD koşullarının geçerli olduğunu belirlemişlerdir. Bu parametrenin 1 den küçük olması durumunda ise YKD koşullarından uzaklaşıldığı ve ortamda kinetik tutulma modelinin geçerli olduğunu göstermişlerdir.

Selim ve Amacher (1988), kimyasal ve fiziksel dengesiz izoterm süreçlerini birleştirerek ikinci dereceden kinetik tutulma yaklaşımını geliştirmişler ve bu

yaklaşımı ikinci dereceden iki bölge modeli (second order two-site model - SOTS) olarak tanımlamışlardır. Geliştirilen bu modelde maksimum tutulma kapasitesi (S_{max}), iki farklı bölge (S_1 ve S_2) arasında paylaştırılmış ve bu bölgelerdeki tutulma miktarı ile maksimum tutulma kapasitesi arasındaki ilişki ise $(S_1)_{max}=f \times S_{max}$ ve $(S_2)_{max}=(1-f) \times S_{max}$ eşitliği ile gösterilmiştir.

Bagchi (1990) tarafından killi topraklarda ağır metallerin tepkimeye girme özelliklerini belirlemek amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Cu, Cr^{+3} , Pb ve Zn metalleri için mobilite değerlerinin düşük As, Cd, Fe ve Ni için orta, Hg ve Cr^{+6} metalleri için ise yüksek olarak tanımlamıştır.

Kookana et al. (1994), Change et al. (1997), Tzou et al. (1998) tarafından bakır ve kadminyum gibi ağır metallerin lateritik topraklar örneklerinde tutulma süreçlerinin belirlenmesi amacı ile yapılan batch deneylerinde tutulma sürecinin oldukça hızlı gerçekleştiği ve tutulma kapasitelerinin %99.9'un 30 dakika içerisinde kimyasal denge koşuluna ulaştığı belirlenmiştir.

Jaynes et al. (1995), iki-bölge (two-region model) veya hareketli-durağan (mobile-immobile) modellerinde tanımlanan durağan bölgenin gözenek (θ_{im}) ve kütle dönüşüm (α) parametrelerinin hesaplanmasında konservatif izleyicinin taşınım hareketinden yararlanarak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde toprak bölgesinde izleyiciye ait ilksel derişim miktarı sıfır, hareketli bölgedeki izleyici derişimi sabit ve girdi derişim miktarına (C_o) eşit olduğu kabul edilmiştir.

Christensen et al. (1996) tarafından kumlu akifer birimlerinde yapılan Cd metalinin ortam koşullarına bağlı olarak K_d değerinin 2-1770 mg/l (Cd metalinin ilksel derişimi 0.1-15 μ g/l ve pH = 4.9-8.9) arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir. Deneylerde Cd metalin derişiminin % 99,1'inin 4 dakika içinde, %99.7'sinin ise difuzyondan dolayı 13 gün sonra tutulmaya maruz kaldığı belirlenmiştir.

Echeverria et al (1998) tarafından ağır metaller ile toprak arasında gelişen tutulma sürecinde karışımın pH etkisini belirlemek amacı ile oda sıcaklığında (25 C°) batch deneyleri yapılmıştır. Batch deneylerinde pH değerleri 7.9, 8.1 ve 5.0 olan kumlu killi tın, siltli killi tın ve tınlı toprak örneklerinde Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerine ait tutulma süreçleri gözlenmiştir. Bu deneylerde toprak örnekleri ile ağır metaller arasında YKD koşullarının sağlandığı kabul edilmiş ve K_d katsayısını belirlemek

amacı ile doğrusal, Langmuir ve Freundlich isotherm modelleri kullanılmıştır. Doğrusal izotherm modeli kullanılarak Cd, Cu, Ni ve Zn metalleri için K_d değerleri kumlu killi tında 2200, 8450, 1960, 3770, siltli killi tında 2200, 8450, 430, 7200 ve tında ise Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn metalleri için 290, 426, 1370, 171 ve 232 litre/kg hesaplanmıştır. Toprak örnekleri tarafından tutulan metal miktarları (Cd, Cu, Ni ve Zn) ise kumlu killi tında 126, 299, 169, ve 170 mmol/kg, siltli killi tında 54, 236,22 ve 320 mmol/kg ve tınlı toprakta ise 5, 26, 3,5 mmol/kg olarak bulunmuştur. Birinci ve ikinci toprak örnekleri tarafından tutulan metal miktarının üçüncü toprak örneğinden çok daha fazla olmasının nedeni ise toprak örneklerinin pH değerine bağlanmıştır. Çünkü yeraltısuyunda pH dereği azaldıkça ortam asidik bir özellik kazandığından dolayı metaller daha kararlı davranış göstermekte ve bundan dolayı tutulma azalmaktadır.

Vereecken et al. (1998b) doğrusal denge ve kinetik tutulma modellerinin gözlemlendiği kütle taşınım hareketlerinde çözelti derişiminde zamana bağlı olarak meydana gelen değişim sürecini inceleme aşamasında asimptotik analiz yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem, akım alanı içerisinde sabit bir konumda uzun zaman aralığı boyunca çözelti derişiminde meydana gelen değişim sürecinin zamanın bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır

Goode (1999), karakteristik eğriler yöntemi (Method of Characteristics:MOC) yardımıyla, yeraltısuyu akım modelinin yaş, gözeneklilik ve basit kimyasal reaksiyonlar ile kullanımını gösteren bir çalışma yapmıştır.

Ambrose et al. (1999) tarafından yapılan araştırmalarda farklı kirleticilerin değişik toprak örneklerindeki tutulma modellerini belirlemek amacı ile önceden yapılmış çalışmalara ait 245 adet makale incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen 1170 farklı K_d değerinin %80'i Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metallere ait olduğu ve metallerin toprak, sediman ve asılı partikül maddelere (APM) ait K_d değerleri arasında aşağıdaki ilişkileri belirlemişlerdir.

Topraklarda : $Pb > Cr^{III} > Hg > As > Zn = Ni > Cd > Cu > Ag > Co$

Sedimanlarda: $Pb > Hg > Cr^{III} > Cu > Ni > Zn > Cd > Ag > Co > As$

APM : $Pb > Hg > Cr^{III} = Zn > Ag > Cu = Cd = Co > Ni > As$

Langer et al. (1999), organik bir bileşik olan Trikloretilen (Trichloroethane (TCE)) kimyasal maddesinin karbonatlı kayalarda organik madde bakımından zengin kırık çatlak sistemlerindeki kütle taşınım hareketini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel verilerdeki değişim süreci Kinetik Langmuir tutulma modeli kullanılarak tanımlanmış, maksimum tutulma kapasitesinin 1.3 ile 4.6 µg/g ve kinetik tutulma sabitinin ise 4×10^{-7} ile 5×10^{-7} l/mgs⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Kırık çatlak sistemlerinde tutulan kirletici madde miktarının tutulmanın meydana geldiği ortamdaki organik madde içeriğine bağlı olarak değişim gösterdiği saptanmıştır.

Kim et al. (2000), kil, siltli kil ve kum birimlerinde K_d ve R_f değerlerinin belirlenmesi amacı ile laboratuvar ortamında batch ve kolon deneyleri yapmışlardır. Batch deneyleri sırasında kirletici madde ile toprak örnekleri arasında yerel kimyasal denge koşullarının sağlandığı kabul edilmiş ve tutulma sürecinin doğrusal bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. K_d değerleri kil örneğinde, 10.5, siltli kilde 10.4, kum biriminde ise 10.3 l/gr olarak hesaplanmıştır. pH'ın R_f üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile yapılan deneyler sonucunda ise pH'ı 4.5 olan kimyasal çözeltinin kil örneğindeki R_f değeri 1.65, kumda 1.2, siltli kilde ise 1.46; aynı çözeltinin pH'ı 6.5 olması durumunda toprak örneklerindeki R_f değerleri ise 1.8, 1.71 ve 1.71 olarak hesaplanmıştır.

Lee et al. (2000), laboratuvar ortamında değişik toprak örneklerine ait D , θ_{im} ve α parametrelerini belirlemek amacı ile pleksiglas malzemeden yapılmış 12×4 cm ebatlarında kolon düzeneği ve konservatif izleyici olarak da potasyum klorür (KCl) çözeltisi kullanmışlardır. Kolon deneylerinde her bir toprak örneğinde izleyicinin derişim miktarında meydana gelen değişim sürecini gösteren ilerleme eğrileri (breakthrough curve) CXTFIT (Parker and van Genuchten, 1984; Toride et al., 1995) programı kullanılarak oluşturulmuş ve ilerleme yöntemi ile parametre değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kum ve killi silt örneklerinde durağan su yüzdesi (θ/θ_{im}) ilerleme yöntemi ile 0.04 - 0.31, Jaynes yöntemi ile 0.07-0.33, kütle taşınım katsayıları ise 7.38×10^{-3} , 0.27×10^{-3} ve 1.24×10^{-3} h⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Liu et al. (2000) heterojen gözenekli ortamlarda doğrusal veya doğrusal olmayan tutulma ve soğrulma süreçlerinin tanımlandığı tek boyutlu advektif-dispersiyon

taşıyım eşitliğinin çözümünde genelleştirilmiş entegral dönüşüm tekniğini (the generalized integral transform technique, GITT) kullanmışlardır. GITT yöntemi kullanarak tek boyutlu advectif dispersiyon kısmı diferansiyel taşıyım denkleminin belirli ilksel ve sınır koşullar altında analitik çözümünü geliştirmişlerdir.

Alumaa et al. (2001) tarafından yapılan batch deneylerinde 0.01 M CaCl_2 çözeltisinde düşük derişimlerde bulunan Cr, Cd, Pb ve Cu ağır metal iyonlarının beş farklı toprak örneğindeki tutulma süreçleri incelenmiştir. Batch deneyleri sırasında yapılan kimyasal analizler sonucunda toprak örnekleri ile metal içeren çözelti arasında YKD koşullarının 16 saat sonra sağlandığı belirlenmiştir. Langmuir izoterm modeli kullanılarak yapılan hesaplamalarda K_d değerlerinin 57 ile 53 000 ml/g arasında değiştiği ve bu değerlere göre ağır metallerin topraktaki tutulma eğilimlerinin $\text{Pb} > \text{Cr} \geq \text{Cu} > \text{Cd}$ şeklinde değişim gösterdiği gözlenmiştir. Ağır metal bakımından doygun durumda bulunan toprak örneklerinde yapılan soğrulma deneylerinde ise toprak örnekleri tarafından tutulan ağır metallerin sıvı faza dönüşüm süreçlerinde pH'ın etkisi araştırılmıştır. Buna göre yüksek pH değerlerinde soğrulma süreci minimum olmakta, pH değeri azaldıkça yani ortam asidik özellik kazandıkça soğrulma sürecinde artma meydana geldiği gözlenmiştir.

Chang et al. (2001), arazide 0–50 cm arasında değişen derinliklerden alınan siltli kil toprak örneklerinde Cu ve Cd elementlerinin tutulma süreçlerinin belirlenmesi amacı ile batch ve kolon deneyleri yapmışlardır. Batch deneyleri sonucunda toprak örneklerinin tutulma kapasitesinin % 99.9'u 30 dakika içinde denge koşullarına ulaştığı gözlenmiştir.

Scheckel et al. (2001), ağır metal olan Ni elementinin toprak örneklerindeki tutulma sürecinde sıcaklık etkisini belirlemek amacı ile ortam sıcaklığı 9-35 °C arasında değişen koşullarda batch deneyleri yapmışlardır. Yapılan batch deneyleri sonucunda nikelin toprak örneklerindeki tutulma tepkime hızında deney sırasında diğer koşulların sabit kalması durumunda sıcaklığa bağlı olarak artış göstermiştir. Örneğin alüminyum silikat grubuna ait killerde 9, 25 ve 35 °C sıcaklıklarda ve 24 saat süren batch deneyleri sonucunda sıvı çözeltideki Ni'nin ilksel derişiminin % 8, 46 ve 92 si çözeltiden uzaklaşarak katı faz tarafından tutulduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar talk, silika ve jips gibi farklı mineral gruplarında yapılan deneyler sonucunda da gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Ni gibi ağır metal

kirleticilerin katı matriks tarafından tutulma süreçleri düşük sıcaklıklarda daha yavaş olarak meydana geldiği belirlenmiştir.

Andersen et al. (2002), Cd, Ni, Zn ve Cu ağır metallerinin toprak örneklerindeki tutulma sürecinde karışıma ait (katı faz+sıvı faz) pH etkisini belirlemek amacı ile batch deneyleri yapmışlardır. Farklı pH koşullarında yapılan bütün deneylerde ortamın pH değeri artıkça metallerin toprak tarafından tutulma miktarlarında sürekli bir artış ve buna bağlı olarak da çözeltideki derişimlerinde ise bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir.

Liedl et al. (2003), tarafından yapılan laboratuvar çalışmalarında üç değişik boydaki (ince, orta ve kaba taneli) kum biriminde batch deneyleri yapılmış. Bu çalışmalar sonucunda ince taneli kum biriminde daha küçük tane çapına ve daha küçük difüzyon uzunluğuna bağlı olarak tutulma sürecinin daha hızlı bir şekilde meydana geldiğini gözlenmiştir. Sedimanter veya toprak örneklerinde tane boyu küçüldükçe birim hacimdeki yüzey alanında artma meydana gelmekte, kirletici maddelerin tutulmaya maruz kalacağı yüzey artmakta ve sonuç olarak da toprak örnekleri tarafından tutulan madde miktarı daha yüksek olmaktadır. Soğrulma yani kirletici maddenin tutulmaya maruz kaldığı katı fazdan ayrılarak sıvı faza geri dönmesi sürecinde ise soğrulma oranının ince taneli kum biriminde daha yüksek kaba taneli kum biriminde ise daha düşük olduğunu gözlenmiştir.

Baek et al. (2003), kum biriminden oluşan akifer sisteminde reaktif izleyici olarak kullanılan benzen çözeltisinin taşınımı sırasında oluşan tutulma süreci batch ve kolon deneyleri ile araştırılmıştır. Bu deneylerde kum ile % 0.5 oranında karbonca zenginleştirilmiş kum birimi ve kimyasal çözelti olarak da KCl ve benzen çözeltileri kullanılmıştır. Batch deneyleri sonucunda kum birimine ait K_d katsayısı 2.86 ml/g, R_f faktörü, 15.3 ve karbon bakımından zengin kum örneğinde ise K_d yaklaşık 14.67 ml/g, R_f 74.4 olarak hesaplanmıştır. Kolon deneyinde ise, benzen ve KCl çözeltilerine ait hız değerleri $C(x_i, t_i)/C(x_0, t_0)$ -t grafiğinden 1.75 ve 1.48 cm/dak. olarak belirlenmiş ve buna göre kum biriminin R_f değeri, V_o/V_r oranından 0.85 bulunmuştur. Karbonca zenginleştirilmiş kum biriminde ise KCl ve benzen çözeltilerinin hızları grafikten 1.05 ve 0.75 cm/dak. olarak belirlenmiş ve R_f ise 1.41 hesaplanmıştır.

Delolmea et al. (2004), laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında Zn metalinin kum birimindeki taşınımı sırasında oluşan tutulma/soğrulma süreçlerinde pH etkisini belirlemek amacı ile batch ve kolon deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda farklı pH değerlerine (4, 5, 6 ve 7) sahip çözeltilerde Zn iyonuna ait tutulma/soğrulma sürecindeki kütle değişim aşamasında farklı miktarlarda artma veya azalmanın meydana geldiğini belirlenmiştir. Örneğin kullanılan çözeltinin pH'ı 4 olması durumunda Zn iyonunun kum birimindeki tutulma miktarı ilksel derişim miktarının %1'nin altında gerçekleşirken pH'ın 5 olması durumunda ise tutulmanın toplam derişimin yaklaşık %5'i olduğu hesaplanmıştır. Bununla birlikte pH'ın 5 olması durumunda katı faz ile Zn çözeltisi arasındaki tutulma izoterm modeli doğrusal olmakta, pH değerinin 6 ve 7 olması durumunda ise Freundlich veya Langmuir izoterm modeline uyum gösterdiği görülmüştür.

Erdem vd. (2004) tarafından yapılan batch deneylerinde ağır metallerin katı matriks tarafından tutulma sürecinde sıcaklık etkisini araştırılmıştır. Yapılan bu deneylerde kurşun (Pb) metalinin siderit toprak örneğindeki tutulma süreçleri değişik sıcaklıklarda (25, 30 ve 35 °C) araştırılmış ve tutulma miktarında sıcaklığa bağlı olarak artma meydana geldiği belirlenmiştir (10.32, 12.45 ve 14.06 mg/g) .

Patkowska et al. (2005), Cr, Cd, Pb, Zn ve Cu gibi ağır metal kirleticilerin tek ve çoklu element koşullarında akifer sisteminde taşınımı sırasında katı matriks tarafından tutulma miktarını belirlemek amacı ile oda sıcaklığında (21 ± 0.1 °C) batch ve kolon deneyleri yapmışlardır. Batch deneylerinde, metal kirleticilerin deney başlangıcından itibaren katı matriksi oluşturan tanelerin yüzey alan miktarına bağlı olarak maksimum tutulmanın genellikle ilk 4 saat boyunca meydana geldiği ve katı matriks ile metal kirleticiler arasında denge koşullarının ise 6 saat sonra sağlandığı gözlenmiştir. Tek veya çoklu element koşullarında deney başlangıcından 5 dakika sonra çözeltide bulunan her bir metal iyonunun ilksel derişim değerinin % 80'inden daha fazlası katı matriks tarafından tutulduğu tespit edilmiştir. Örneğin Cd metal kirleticinin tek elementli ve pH değeri 2 olan çözeltide katı matriks tarafından tutulma kapasitesi 0.434 mg/g iken aynı koşullarda çoklu elementli çözeltideki tutulma miktarı 0.246 mg/g, pH değeri 7 olması durumunda ise 2.321 ve 2.294 mg/g olarak belirlenmiştir.

Son yıllarda tek veya çok bileşenli reaktif maddenin (Multi-component reactive transport) ve değişken yoğunluklu kütle taşınım hareketinin (variable density flow) yüzey ve yeraltısuyu akım sistemlerinde meydana getirdiği fiziksel ve kimyasal süreçleri tanımlamak amacı ile farklı amaçlı kütle taşınım modelleri geliştirilmiştir. Çok bileşenli reaktif taşınım modellerine örnek olarak MIN3P (Mayer, 1999), PHREEQC-II (Parkhurst et al., 1990; Parkhurst, 1995; Parkhurst and Appelo, 1999), HydroBioGeoChem (Yeh et al., 1998) ve RT3D gibi MODFLOW/MT3DMS tabanlı modeller (Clement et al., 1998) ve tek bileşenli kütle taşınım modellerine ise SUTRA (Voss, 1984), FEMWATER (Lin et al., 1996), HST3D (Kipp, 1997), FEFLOW (Kolditz et al., 1998) ve MOCDENS3D (Oude Essink, 2001) verilebilir.

2. İNCELEME ALANININ ÖZELLİKLERİ VE JEOLJİK YAPISI

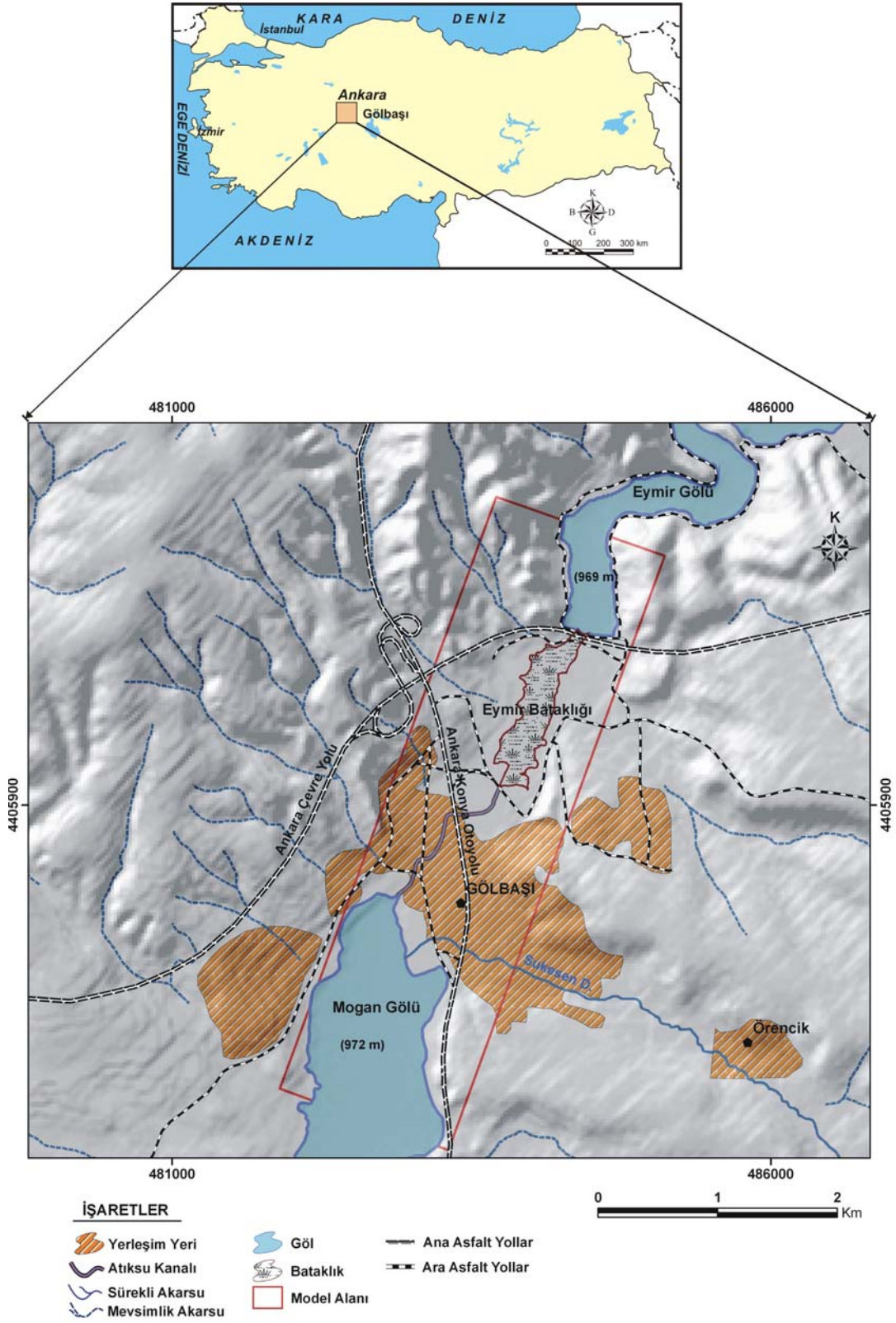
2.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

Ankara'nın yaklaşık 20 km güneyinde Konya karayolu üzerindeki Gölbaşı İlçesi sınırları içerisinde yer alan inceleme alanı, ortalama 971 m kotlu İç Anadolu Platosu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.1). $39^{\circ} 44' 40''$ - $39^{\circ} 47' 45''$ kuzey enlemleri ile $32^{\circ} 46' 30''$ - $32^{\circ} 49' 30''$ doğu boylamları arasında bulunan inceleme alanında hidrojeolojik sistem Eymir ve Mogan gölleri arasında yer alan Kuvaterner yaşlı alüvyal çökellerden oluşmaktadır. Yaklaşık 4.9 km²'lik bir yüzey alanına sahip olan inceleme alanının güneybatı sınırını oluşturan Mogan Gölü, yazları genellikle kuruyan küçük dereler ile beslenmekte ve hidrojeolojik sistemde meydana gelen kirlenmede kaynak görevi görmektedir. Yağışlı dönemlerde Mogan Gölü suları regülatör kontrolünde beton bir drenaj kanalı ile Eymir Gölü'nün güneyinde yer alan Eymir Bataklığı'na boşaltılmaktadır (Foto 2.1). İnceleme alanı kuzeydoğuda ise Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) kampus yerleşim alanı sınırları içinde kalan Eymir Gölü ile sınırlanmaktadır. İnceleme alanında Orta Anadolu'nun tipik sert ve karasal iklim özellikleri hüküm sürmektedir. Bu iklimin en belirgin özellikleri kış aylarının soğuk ve yağışlı (yağmur ve/veya kar şeklinde), yaz aylarının ise sıcak ve kurak olarak kendisini göstermesidir. Gölbaşı Meteoroloji İstasyonu'ndan elde edilen verilere göre yıllık sıcaklık ortalaması 11.7 °C olup en soğuk ay Ocak ayı (ortalama -1 °C) , en sıcak ay ise Temmuz ayıdır (ortalama 23.4 °C). Ortalama yıllık yağış miktarı 317.6 mm olup toplam yağışın %66'sı ilkbahar ve kış mevsimlerinde gerçekleşmektedir. Yıllık toplam potansiyel buharlaşma ise 1065.6 mm'dir.

İnceleme alanının içinde yer aldığı Mogan ve Eymir Gölleri Havzası 22.10.1990 tarih ve 90/1117 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilmiştir.

2.2. Genel Jeoloji

İnceleme alanı ve çevresinde 1/25.000 (Kalkan vd.,1992) ve 1/100.000 (Akyürek vd.,1997) ölçekli jeolojik harita alımı MTA tarafından gerçekleştirilmiştir. Doktora tez çalışması kapsamında yer alan birimlerin jeolojik özelliklerinin tanımlanmasında Kalkan vd. (1992) tarafından yapılan çalışmalar esas alınmıştır.



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



(a)



(b)



(c)



(d)

Foto 2.1. Çalışma alanında yer alan regülatör (a), beton drenaj kanal (b), bataklık girişi (c) ve bataklık alan (d)

İnceleme alanında yüzeylenen litolojik birimlerin genel özellikleri ile aşağıda tanımlanmıştır. Mogan - Eymir gölleri havzasına ait jeoloji haritası ve stratigrafik istif Şekil 2.2' de, inceleme alanın jeolojik yapısının tanımlanması amacı ile değişik yönlerde alınmış jeolojik kesitler ise Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verilmiştir.

2.2.1. Mesozoyik

Emir Formasyonu (TRae)

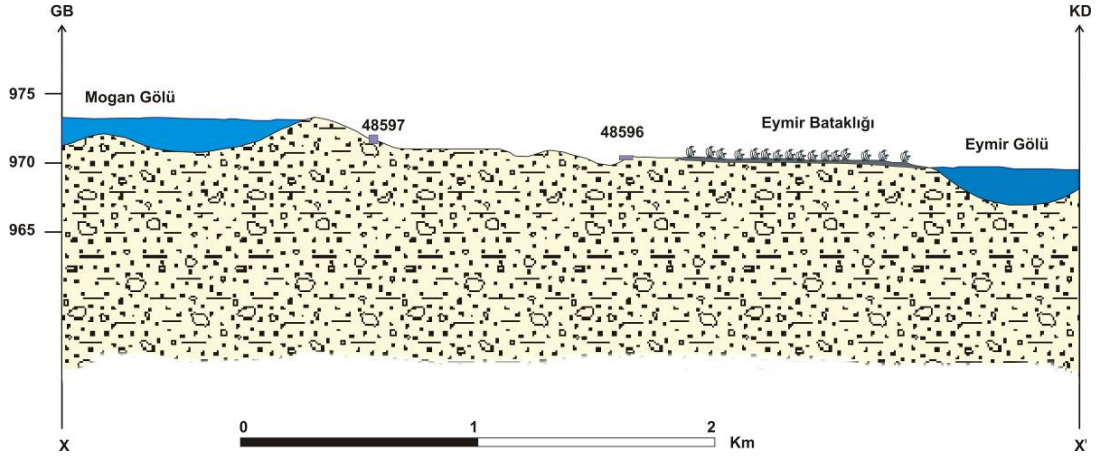
İnceleme alanının batı ve kuzey batısında Eymir Gölü dolaylarında yaygın olarak izlenen birim, yeşil şist fasiyesinde mineral parajenezleri içeren, ince ve yer yer kaba taneli birimlerin metamorfizması sonucunda oluşmuş tabakalardan meydana gelmektedir. Bu tabakalar, muskovit-kuvars şist, serisit-klorit-kuvars şist, serisit-klorit şist, fillit, kuvars-albit-klorit şistlerden oluşmaktadır. Formasyon genellikle ince-orta ve yer yer kalın oldukça belirgin tabakalı olup, sarı, boz ve kahve renklerde. Özellikle ince taneli tabakalar belirgin bir şekilde kıvrımlı ve şistozite yapılarına sahiptir. Şistozite yapıları tabakalanma yüzeylerine paralel olarak meydana gelmiştir. Formasyonun tabanı inceleme alanında gözlenmemektedir. Kalınlığı için kesin bir değer vermek olanaksız olup Eymir Gölü ve çevresinde yaklaşık olarak 500 m dolayındadır (Kalkan vd.,1992). Akyürek vd. (1984) tarafından yaşı Alt Triyas olarak belirtilmektedir.

Elmadağ Formasyonu (TRael)

Elmadağ Formasyonu genellikle yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş ve kısmen ilksel konumunu koruyan eski fliş çökellerinden oluşmaktadır. Boz, gri, kahverengi ve sarımsı renkli, ayrışma yüzeyleri ise sarımsı, kahve renklidir. Metaçakıltaşı, metakumtaşı, metakiltaşı ve meta çamurtaşından meydana gelmektedir. Formasyon içerisinde alttan üste doğru gittikçe artan ve irileşen Permo-Karbonifer (Pckb) ve Permiyen (Pkb) yaşlı, bol fosilli, merceksel konumlu kireçtaşları değişik boyutlu bloklar halinde yer almaktadır. Elmadağ Formasyonu altta Emir Formasyonu ile düşey geçişlidir. Üst dokanağı volkanitler ile örtülü olan formasyonun kalınlığı 750–1000 m dolayındadır. Daha önce yapılan çalışmalarda formasyonun değişik seviyelerinden alınan örneklerden yaşı Orta-Üst Triyas olarak saptanmıştır (Akyürek vd.,1997) .



Şekil 2.2. Mogan-Eymir Gölleri Havzası genel jeoloji haritası



Şekil 2.3. Çalışma alanında GB-KD yönünde alınmış jeolojik kesit

Ortaköy Formasyonu (Trao)

İnceleme alanında, kısmen ilksel halini koruyan, kısmen de düşük derecede metamorfizmaya uğramış bazalt (spilit), diyabaz türü kayalar ile bunların tüflerinden, volkanik malzemeli kumtaşlarından ve aglomeralardan oluşmaktadır. Ortaköy Formasyonu içinde Orta-Üst Triyas (Traoi) yaşlı kireçtaşları değişik boyutlarda bloklar halinde izlenmektedir. Ortaköy Formasyonu, yanal olarak Elmadağ Formasyonu ile geçişli olup Ortaköy Formasyonu Orta-Üst Triyas'ta oluşmuş okyanus kabuğuna ait yastık lavlı kesim olarak düşünülmektedir (Akyürek vd.,1997).

Permo-Karbonifer Yaşlı Kireçtaşı Blokları (PCkb)

Çalışma alanındaki Permo-Karbonifer yaşlı birimler Elmadağ Formasyonu içinde yer alan kireçtaşı bloklarıdır. Gri, beyaz renkli, çatlaklı ve yer yer kristalize olarak izlenen kireçtaşları, orta-ince tabakalanmalıdır. Birimin değişik kesimlerinde hem Karbonifer hem de Permian yaşını veren fosil topluluklarına rastlanmıştır (Akyürek vd.,1997).

Permian Yaşlı Kireçtaşı Blokları (Pkb)

Elmadağ Formasyonu ve Ortaköy Formasyonu içinde kaya türüne bağlı olarak ayırtlanmıştır. Permian yaşlı kireçtaşları, gri, beyaz renkli, yer yer kristalize, çatlaklı ve ince-orta tabakalanmalıdır. Fosil içeriğine göre yaşı Üst Permian

olarak belirlenmiş olup bloklar, ilksel yerinde resif, resif önü ve havza kenarında çökelmiştir (Akyürek vd.,1997).

İmrahor Kireçtaşı Üyesi (Traoi)

İmrahor Kireçtaşı Üyesi, Ortaköy Formasyonu'nun yayılım alanı içinde ayırtlanan bant şeklindeki kireçtaşlarından oluşur. İnce-orta tabakalanmalı, gri beyaz renkli, seyrek olarak kırmızı renktedir. Volkanik kumtaşları ile geçişli olduğu yerlerde kumlu kireçtaşı özelliğindedir. İmrahor Kireçtaşı Üyesi altta ve üstte Ortaköy Formasyonu'nu oluşturan kaya türleri ile geçişlidir. Yanal olarak ise Ortaköy formasyonu içinde kamalanarak sonlanır. Bu birimin yaşı Orta-Üst Triyas'tır (Akyürek vd.,1997)

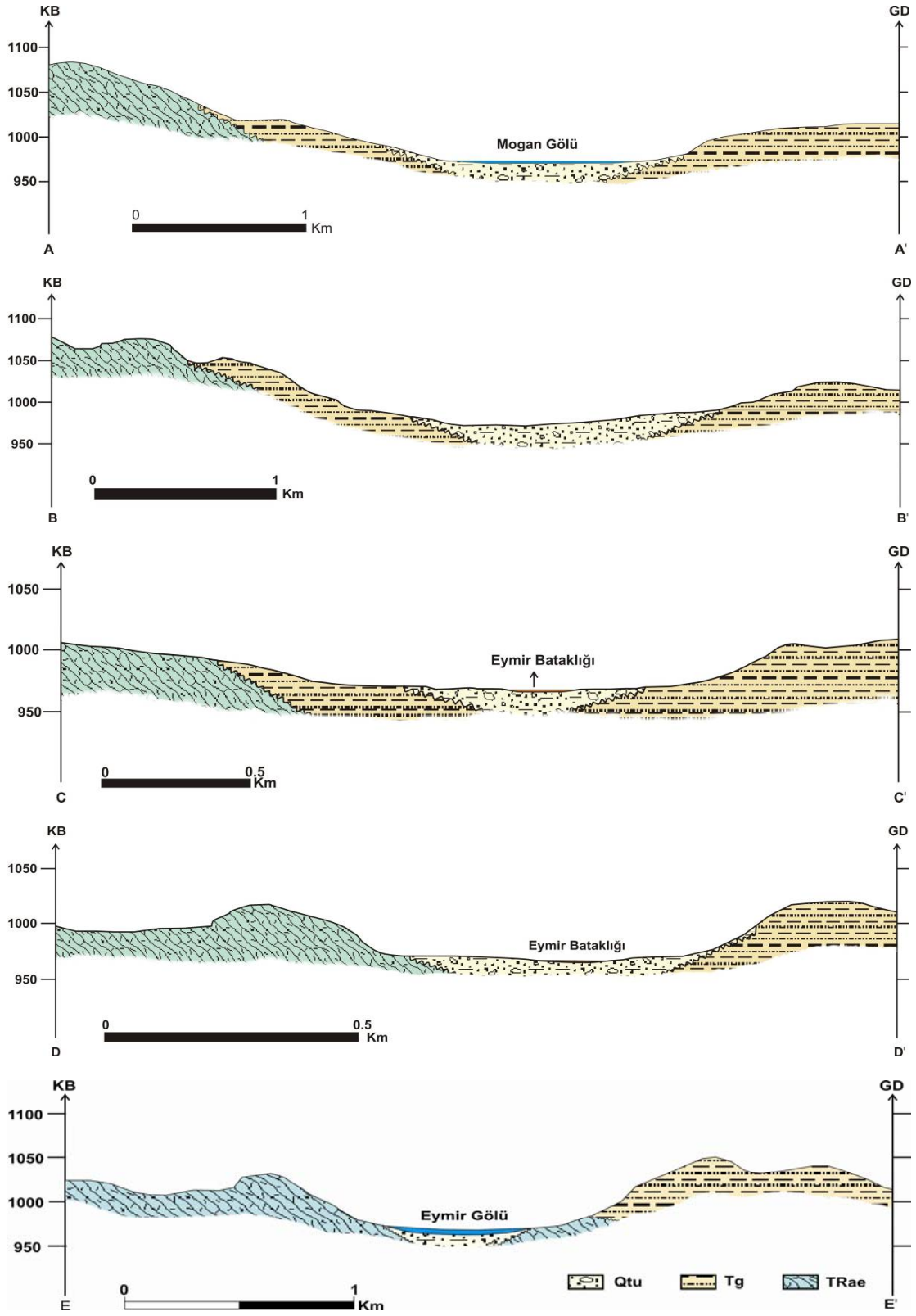
Dereköy Ofiyolit Melanjı (Kd)

Genelde ofiyolitli melanj olarak tanımlanan birim içerisinde serpantin, gabro, diyabaz volkanit (bazalt, diyabaz, spilit) radyolarit, çörtlü kireçtaşı blokları düzensiz bir yapı göstermektedir. Serpantinler koyu boz, nefti yeşil görünümüyle formasyonun en geniş yayımlı birimidir. Dereköy ofiyolitli melanjının alt dokanağı inceleme alanında gözlenmemektedir. Alan içindeki kalınlığının 1000 m dolayında olduğu tahmin edilmektedir(Kalkan vd., 1992). Kesin yaş vermek mümkün olmamakla birlikte birimin yerleşim yaşının Geç Kretase olduğu tahmin edilmektedir (Altınbilek vd., 1995).

2.2.2. Senozoyik

Gerder Volkanitleri (Tma)

Gerder Volkanitleri aglomera, tuf ve üst kesimlerde kalın volkanik akıntılardan oluşmuştur. Aglomeralar genellikle beyaz, sarımsı ve pembe renkli, değişik boyda andezit ve bazalt çakıllı, tuf çimentoludur. Tüfler ise beyaz, sarımsı renkli olup yer yer tabakalı bir yapı göstermektedir. Volkanitler genellikle siyah renkli, gaz boşluklu yapı sunan sert bazaltlarla koyu gri, pembe renkli andezitlerden oluşur. Gerder volkanitleri altta daha yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Üstte gölsel çökeller ile girik olarak gözlenen birim Gölbaşı Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Kalınlık çok değişken olup alanda kalınlığının yaklaşık 400 m dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Gerder Volkanitleri'nin yaşı Alt Miyosen olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd.,1997).



Şekil 2.4. Çalışma alanında KB-GD yönünde alınmış jeolojik kesitler

Virancık Gölselleri (Th)

Çalışma alanının doğusunda ve batısında yaygın olarak gözlemlenen formasyon sık kıvrımlı kireçtaşı, marn, kilitaşı, kumtaşı ve tüfit aralanması şeklinde mostra vermektedir. Alanının doğusunda etkin olan volkanizmanın ürünü olan tüfitler oldukça yaygındır. Kireçtaşı birimleri çörtlü olup daha kalın katmanlı aralanmalar şeklindedir. Gerder Volkanitleri ile geçişli gözlenen birim altta daha yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelir. Üst dokanağı ise Gölbaşı Formasyonu tarafından uyumsuz örtülür. Kalınlığı inceleme alanında 250 m'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir (Kalkan vd.,1992). Daha önceki yapılan çalışmalarda yaşı Alt Miyosen olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd., 1984).

Tekke Volkanitleri (Tt)

Tekke Volkanitleri, inceleme alanının doğusunda yüzeylenmekte olup birim, andezit trakiandezit, bazalt, tuf, aglomera ve dasitten oluşmaktadır. Andezitler, kırmızı, pembe, boz ve siyah renklidir. Tüfler, gri, beyaz renklerde, çok ince taneli olup çoğunlukla andezit ve aglomeralar arasında düzeyler halinde görülmektedir. Değişik evrelerde oluşmuş bulunan birimin yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir (Akyürek vd., 1997).

Bazalt (B)

Tekke volkanitinin alt düzeylerinde izlenen bazaltlar kaya türü özelliklerinden yararlanılarak tanımlanmıştır. Bazalt; siyah, koyu kahve rengine, gaz boşluklu olup, akma yapısı göstermektedir. Bazaltlar, bölgedeki volkanizmanın ilk ürünü olarak düşünülmektedir (Akyürek vd., 1997).

Gölbaşı Formasyonu (Tg)

Eymir Gölü güney doğusu ile Mogan Gölü çevresinde G-K yönlü bir şerit halinde geniş alanlarda yüzeylenme göstermektedir. İnceleme alanında Gölbaşı formasyonu daha yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Birim, pekişmemiş veya az pekişmiş değişik boyda farklı kökenli çakıltası, kumtaşı, kil, tuf ve ince bantlı gölssel kireçtaşı-marn aralanmasından oluşmaktadır. Gevşek tutturulmuş tabakalar halinde gözlenen formasyonda bağlayıcı madde karbonat ve

kildir. Formasyon genellikle kırmızı, boz, gri, beyaz ve sarımsı renkli, kalın ve çoğunlukla çok kalın tabakalıdır (Akyürek vd., 1997).

Gölbaşı Formasyonu'nun üst dokanağı Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile örtülüdür. Genelde yatay veya yataya yakın konumda geniş mostralar halinde gözlenen formasyonda yer yer 5° ve 10° lik eğimler belirlenmiştir (Altınbilek vd., 1995). Gölbaşı formasyonu alüvyon yelpazeleri ile zaman zaman küçük göllerin egemen olduğu bir akarsu çökeli şeklindedir. Akyürek vd. (1984) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda yaşlı Pliyosen olarak bulunmuştur. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 200-250 m dolayındadır.

2.2.3. Kuvaterner

Alüvyon (Qal)

İncesu deresi'ni (Mogan Gölü'nün güneyi) izleyen İmrahor deresi vadisi boyunca (Eymir Gölü'nün kuzeyi) ortalama 971 m kotlu topoğrafya üzerinde mostra veren ve akarsu çökellerinden oluşan alüvyon birim kil, kum, tınlı kum, kumlu tın, siltli killi tın ve siltli tın seviyeleri şeklinde ardalama göstermektedir.

2.3. Su Noktaları

2.3.1. Akarsular

Mogan ve Eymir gölleri havzasında yer alan en önemli akarsu Gölbaşı yerleşim birimi içerisinde geçerek Mogan Gölüne boşalan Su Kesen Deresi'dir. Genellikle yıl içerisinde bütün aylarda sürekli akımın gözlemlendiği dereye maksimum debi Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında (127 l/s) minimum debi ise Ağustos ve Eylül aylarında 1.16 l/s olarak ölçülmüştür. Derenin ortalama debisi Mogan Gölü girişinde yer alan EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) akım gözlem istasyonunda 39 l/s olarak belirlenmiştir (1999-2004).

2.3.2. Mogan ve Eymir gölleri

Tektonik hareketler sırasında çökme sonucu oluşmuş olan ve İncesu Deresi'ni izleyen İmrahor Deresi vadisinin orta kesiminde, vadi tabanında yer alan Mogan ve Eymir gölleri, inceleme alanı içerisinde yer alan en genç morfolojik birimlerdir. Havza tabanına göre daha yüksek kotlarda bulunan formasyonlara ait bozunma ürünlerinin ana vadi tabanına yan dereler ile taşınması sonucunda oluşan birikinti

konileri Mogan ve Eymir çukurlarının kuzeyinde doğal set oluşturmuşlar ve gl sularının birikmesine neden olmuşlardır (Altınbilek vd.,1995).

Mogan Gölü

Mogan Gölü Ankara ili sınırları içerisinde, $39^{\circ} 44' 40''$ ve $39^{\circ} 47' 45''$ kuzey enlemleri ile $32^{\circ} 46' 30''$ ve $32^{\circ} 49' 30''$ doğu boylamları arasında yer alan alüvyonal bir set gldr. Doğal set gerisinde akarsuyun göllenmesi sonucunda oluşan Mogan Gölü, daha sonra ana dere ve yan derelerin gle boşaldığı ağız kesimlerinde alüvyon birikiminin ilerlemesi ile daralmaya uğramıştır. Alüvyon birikimi sonucu gln dolarak çekildiği dere ağızları bataklık alanlara dönüşmektedir. Özellikle Mogan Gölü'nü besleyen dereler tarafından taşınan sedimanların gl tabanında çökmesi sonucunda Mogan Gölü derinliğini yitirmiş ve sığ bir gl durumuna gelmiştir (Altınbilek vd.,1995). Glde zamana bağlı olarak meydana gelen sığlaşma gln ömrünü ve kirlenme hızını artıran en önemli faktörlerdir.

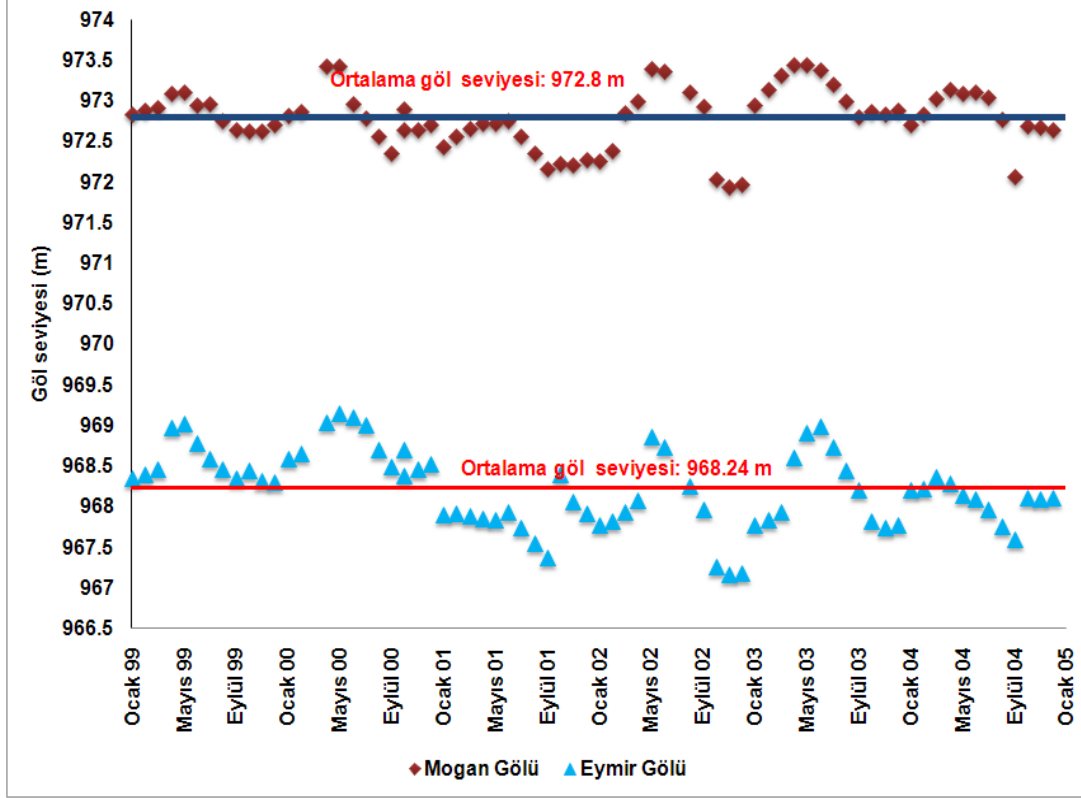
Eymir Gölü'nün yaklaşık 2.6 km GB'sında yer alan Mogan Gölü'nün uzunluğu ortalama 6 km, eni 1.25 km, göl alanı 7.078 km^2 ve hacmi ise $1.361 \times 10^7 \text{ m}^3$ tür. Gl su seviyesi deniz seviyesinden ortalama 972.8 m yükseklikte bulunmakta olup EİEİ tarafından Ocak-1999 ve Aralık-2004 tarihleri arasında aylık yapılan ölçümlere göre Mogan Gölü'ndeki su seviyesi Nisan ve Mayıs aylarında maksimum (ortalama 973.15 m), Eylül ve Ekim aylarında ise minimum değerlere (ortalama 972.53 m) ulaşmaktadır (şekil 2.5).

Eymir Gölü

Eymir Gölü, İmrahor Deresi'nin kanyon şekilli vadisinin, Elmadağ doruklarından gelen Alicin Deresi'nin vadi ağzında oluşturduğu birikinti konisinin setlenmesi sonucunda oluşmuştur. Gln S şeklinde oluşu ve kanyon vadi yamacındaki akarsu şekillerinin korelâsyonu, akarsuyun şistlerden oluşan temele gömülü bir menderes morfolojisinde yerleşerek, bükümlü kanyon vadisini oluşturduğunu ortaya koymaktadır. 100-200 m arasında derinlikte olan kanyon, epirojenik yarma vadi özelliği göstermektedir (Altınbilek vd.,1995).

Mogan Gölü'nün K-KD'sunda yer alan Eymir Gölü uzunluğu ortalama 4.9 km, eni 330 m, gl alanı 1.214 km^2 ve hacmi $3.509 \times 10^6 \text{ m}^3$ tür. Gl su seviyesi deniz

seviyesinden ortalama 968.24 m yükseklikte bulunmaktadır. EİEİ tarafından Ocak-1999 ve Aralık-2004 tarihleri arasında yapılan aylık ölçümlere göre Eymir Gölü'ndeki su seviyesi Nisan ve Mayıs aylarında maksimum (ortalama 968.57 m), Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ise minimum (ortalama 968.02 m) olmaktadır (Bkz. Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Mogan ve Eymir Gölü su seviye değişim grafiği

3. HİDROJEOLJİK YAPI

Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan inceleme alanında hidrojeolojik yapıyı tanımlamak ve bu yapı içerisinde gerçekleşen yeraltısuyu akım ve kütle taşınım hareketini denetleyen fiziksel ve kimyasal parametreleri belirlemek amacı ile arazide sondaj, gözlem, örnekleme; laboratuvar koşullarında ise deneysel çalışmalar yapılmıştır.

3.1. Arazi Çalışmaları

3.1.1. Sondaj çalışmaları

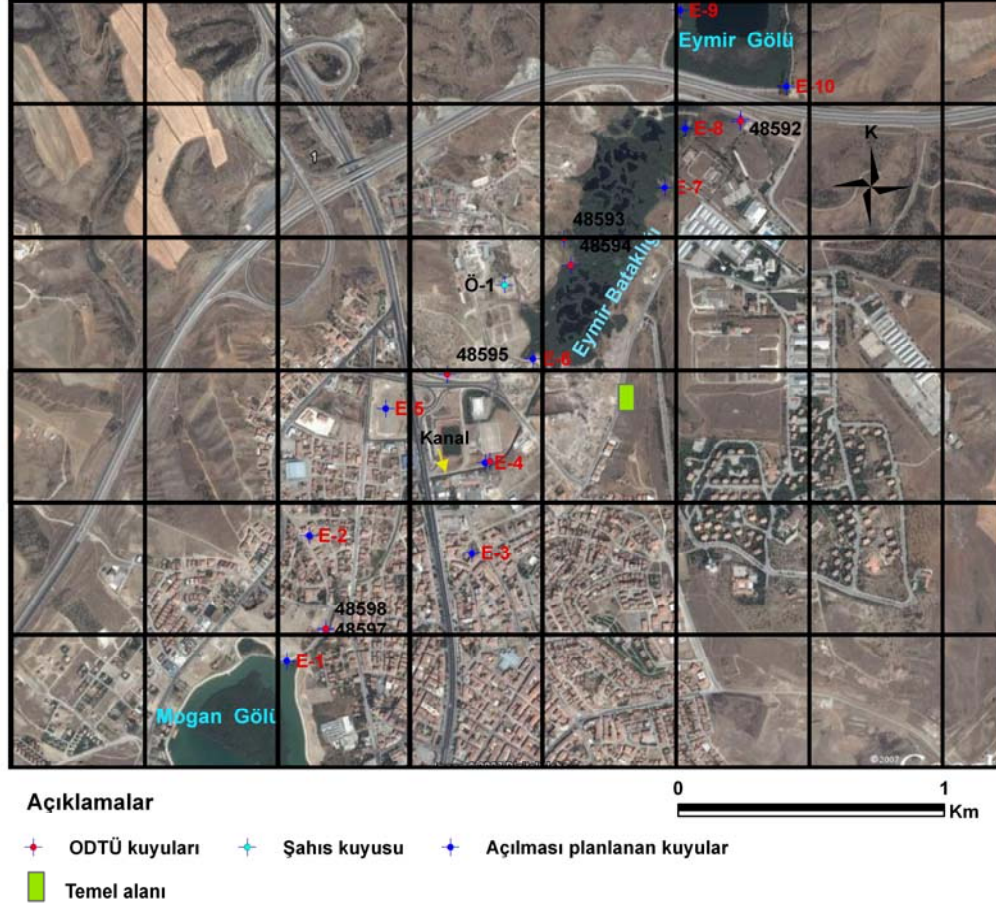
Tez çalışması kapsamında yapılması planlanan sondaj çalışmaları 02-08 Ağustos-2005 tarihleri arasında Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan hidrojeolojik yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmalarında Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Geoprobe Sistemi (Mobilize-Doğrudan İtmeli-Yerinde Ölçüm-Örnekleme Laboratuvarı) kullanılmıştır (Foto 3.1).



Foto 3.1. Geoprobe sistemi ve inceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama, arazide açılması planlanan sondaj kuyu yerlerinin belirlenmesine yönelik arazi ve büro çalışmalarından oluşmuştur. Bu amaçla Haziran-2005 döneminde arazi genelinde ön etüd çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular büro çalışmaları kapsamında CBS ortamında Gölbaşı ilçesi ve geneline ait olan uydu görüntüsü ile birlikte değerlendirilmiştir. Uydu görüntüsü, yerleşim yerleri, yerleşim yerlerine ait yeraltı şebekeleri (kanalizasyon, telefon, vb.), ulaşım koşulları ve zaman parametresi de göz önünde

bulundurularak 500×500 m ölçeğinde gridlere ayrılmıştır. Gridlere bölünen inceleme alanında hidrojeolojik yapının özelliklerini ortaya koyabilecek şekilde en uygun sondaj lokasyon noktaları belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. İki göl arasında açılması planlanan kuyu yerleri.

Sondaj çalışmalarının ikinci aşamasında ise, arazi ve büro çalışmaları sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak, iki göl arasındaki yeraltısuyu akım sisteminde akım hattı boyunca yeralan birimlerin düşey ve yanal yöndeki dağılımını ortaya koyacak şekilde 10 farklı lokasyonda (Bkz. Şekil 3.1), değişik derinliklerde (Çizelge 3.1) sondaj kuyuları açılmıştır. Sondaj kuyularının farklı derinliklerde açılmasında göllerin derinlikleri de göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre sondaj çalışmaları kirleticilerin yeraltısuyu akım sistemindeki hareketleri sırasında gözenekli ortam matrisinde ve yeraltısuyundaki derişim değerleri açısından yaratmış oldukları etkilerin tahmin edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında karotiyer içerisine yerleştirilen plastik borular (koruyucu) ile yüzeyaltı

yapısını bozmayacak şekilde toprak (karot) örnekleri alınmış ve borularda korunan örnekler yüzeyden itibaren inilen derinlik sırasına göre yerinde kodlanarak laboratuvar ortamına taşınmıştır (Foto 3.2). Sondaj çalışması sonunda, iki göl arasında yer alan hidrojeolojik sistemdeki yeraltısuyu seviyesinin (YAS) zamanla değişimini gözlemek ve yeraltısuyundan örnek alabilmek amacı ile sondaj kuyularına daha önceden hazırlanmış 50 mm çaplı kapalı ve filtreli PVC plastik borular yerleştirilmiştir (Foto 3.3).

Kuyulardan alınan toprak örnekleri, yeraltısuyu hareketini kontrol eden akifer özellikleri (gözeneklilik, hidrolik iletkenlik vb.) ile kirletici hareketi sırasında etken olan fiziksel ve kimyasal süreçleri tanımlamada kullanılan taşınım parametrelerini (dispersiyon, dispersivite, paylaşım katsayısı, gecikme faktörü, vb.) belirlemede kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Ağustos-2005 döneminde arazide açılan sondaj kuyularına ait özellikler

Kuyu No	Doğu (m)	Kuzey (m)	Kot (m)	Derinlik (m)
E-1	482865	4405112	973.7	6.00
E-2	482914	4405615	973.5	10.68
E-3	483555	4405519	972.8	11.43
E-4	483604	4405850	971.2	7.50
E-5	483206	4406085	971.8	13.55
E-6	483751	4406242	969.7	6.50
E-7	484218	4406775	969.4	9.75
E-8	484537	4407133	969.4	11.00
E-9	484311	4407584	970.1	6.80
E-10	482914	4405615	969.0	7.70

3.1.2. Kuyularda YAS ölçüm çalışmaları

Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan hidrojeolojik sistemde meydana gelen yeraltısuyu akımının hidrodinamik yapısını ve yüzeysuyu kaynakları ile olan ilişkisini belirlemek amacı ile kamu ve özel kuruluşlar tarafından açılmış sondaj kuyularında (Şekil 3.2) aylık YAS ölçümleri yapılmış ve önceden yapılan ölçümler

toplanmıştır (Ek 1). Elde edilen YAS ölçümleri inceleme alanına ait yeraltısuyu akım ve kütle taşınım modellerinin oluşturulmasında ve model parametrelerinin kalibrasyonu/kestirimi aşamasında kullanılmıştır.



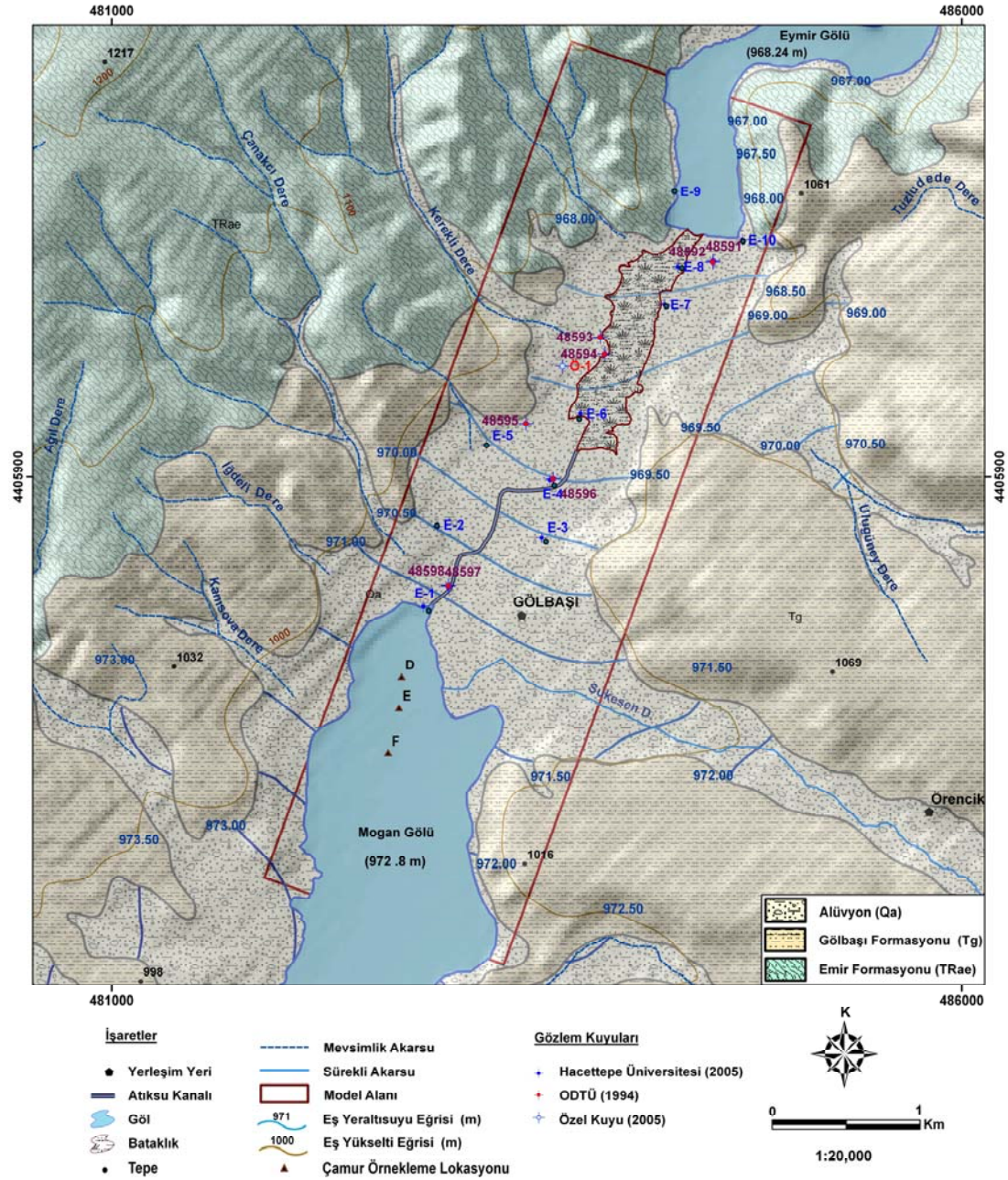
Foto 3.2. Sondaj kuyularından plastik koruyucular ile toprak örneklerinin alınması ve yüzeyden itibaren inilen derinlik sırasına göre örneklerin kodlanması işlemi.



Foto 3.3. Arazide açılan sondaj kuyularına YAS değişimini gözlemek amacı ile PVC borularının yerleştirilmesi.

3.1.3. Yüzey ve yeraltısuyunda su kimyası çalışmaları

İnceleme alanında yer alan su kaynaklarında (Mogan ve Eymir gölleri, Eymir Bataklığı, yeraltısuyu) mevcut su kalitesini ve kirletici türlerini belirlemek amacı ile farklı zamanlarda örnekleme alınmış ve yerinde çeşitli parametrelerin (hidrojen iyon aktivitesi (pH), sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (Eİ), çözülmüş oksijen (ÇO), vb.) ölçümü gerçekleştirilmiştir (Ek 2).



Şekil 3.2. İnceleme alanında yeraltısuyu gözlemi yapılan özel ve kamu kuruluşları tarafından açılmış sondaj kuyuları.

3.1.4. Mogan Göl taban yüzeyinde çamur örnekleme çalışmaları

Göl taban malzemesini oluşturan çamur birimine ait jeohidrolojik parametreleri belirlemek amacı ile göl tabanında yer alan 3 farklı örnekleme noktasından “Eckman” kepçesi ile çamur örnekleri alınmıştır (Bkz. Şekil 3.2). Kullanılan 6 kg’lık Eckman kepçesi ile çamura tam penetrasyon sağlanmış ve tüm örnekleme çalışmaları yüzeyden itibaren 20 cm’lik derinliği temsil edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sonrasında 2 saat içinde laboratuvara ulaştırılan örnekler analiz işlemleri başlayana kadar +4°C sıcaklıkta korumaya alınmıştır.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında yapılması planlanan deneylere başlamadan önce her bir sondaj kuyusuna ait karot örnekleri arazide bulundukları konum ve yüzeyden itibaren bulundukları derinliklere göre düzenlenmiştir (Foto 3.4). Bu düzenlemeden sonra karot örneklerinde görsel olarak gösterdikleri litolojik değişim ve renk özelliklerine göre genel bir sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan bu sınıflandırma sonucunda alüvyon biriminde 9 farklı litoloji (toprak örtüsü, kahverengi kil, yeşil renkli kil, kumlu kil, çakılı kumlu kil veya kumlu çakıllı kil, killi kumlu çakıl, az çakıllı kil, kum, killi kum, kumlu çakıl veya çakıllı kum) tanımlanmıştır. Tanımlanan litolojilere ait sınıflandırmanın doğruluk derecesini değerlendirmek ve YAS akım ve kütle taşınım hareketini kontrol eden jeohidrolojik ve taşınım parametrelerini belirlemek amacı ile Hidrojeoloji Mühendisliği Jeohidroloji Laboratuvarı’nda (HÜ) deneyler yapılmıştır.



Foto 3.4. Toprak örneklerinin arazideki lokasyon ve derinliklerine göre düzenlenmesi.

3.2.1. Tane boyu dağılım analizleri ve toprak sınıflandırılması

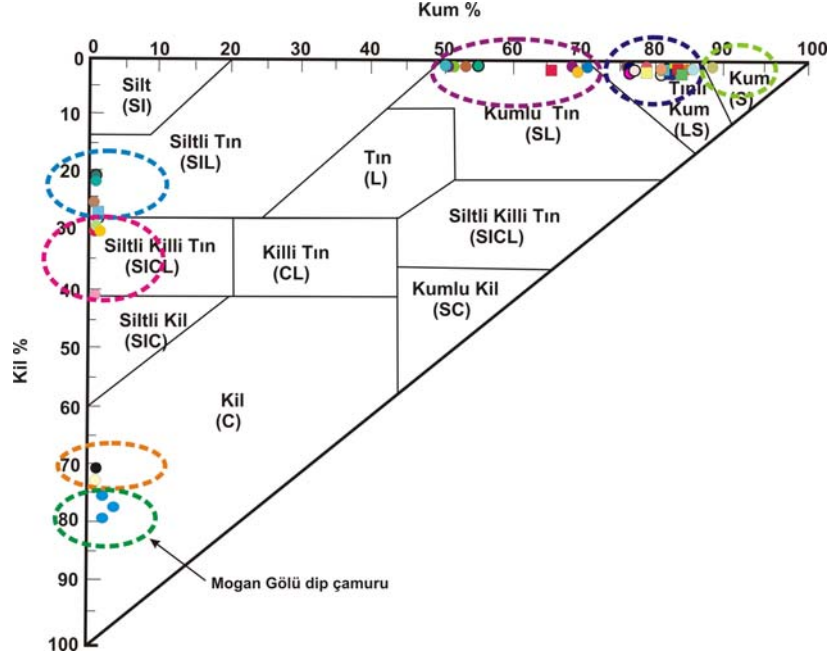
Arazide değişik lokasyon ve derinliklerde alınmış olan toprak örneklerinde tanelerin yüzde miktarlarını belirlemek ve bu verilere göre toprak örneklerini sınıflandırmak amacı ile tane boyu analizleri yapılmıştır (ASTM (1997)-D 422-63).

Tane boyu analizleri elek ve lazer çözümüleme yöntemleri olmak üzere iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Kum ve çakıl birimlerine ait tane boyu yüzde miktarları elek analizi (5, 10, 18, 35, 60, 120, 230 nolu eleklerine ait elek üstü değerleri) ile 230 nolu elek altında kalan silt kil gibi ince taneli birimlerde ise hidrometre çözümülemesi yerine Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bulunan SYPATE markalı LAZER SIZER aleti kullanarak lazer çözümülemesi yapılmıştır. İki farklı aşama sonucunda elde edilen eğrilerin birleştirilmesi ile oluşturulan toprak örneklerine ait tane boyu dağılım grafikleri Ek 3'de sunulmuştur. Laboratuvar çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen tane boyu analizleri sonucunda elde edilen veriler USDA (1972) tarafından geliştirilen ve toprak sınıflandırılmasında kullanılan üçgen yöntemi ile değerlendirilmiş (Şekil 3.3) ve kum-kil boylarına ait yüzde değerleri kullanılarak üçgen içerisinde bulundukları bölgelere göre sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre Kuvaterner yaşlı alüvyon çökellerin kum, tınlı kum, kumlu tın, siltli tın, siltli killi tın ve kil birimi olmak üzere 6 farklı hidrolik birimden oluştuğu belirlenmiştir. Mogan Gölü dip çamurunun % 20-25 oranında orta-ince silt ve % 75-80 oranında kil boyu malzemeden oluştuğu belirlenmiş (HÜ-UKAM,1998) ve USDA sınıflamasına göre kil olarak isimlendirilmiştir.

3.2.2. Özgül ve kuru birim hacim ağırlık deneyleri

Toprak örneklerine ait özgül (G_s) ve kuru birim hacim ağırlıkları (ρ_b) laboratuvar koşullarında yapılan piknometre (ASTM (1997) D854-92) ve hava piknometre deneyleri ile hesaplanmıştır (Bkz. Ek 4). Toprak örneklerine ait görünür hacimlerin belirlenmesi aşamasında örnekler 60-70 °C de eritilmiş parafin çözeltisinde bekletilerek gözenek hacimlerinin tamamıyla parafinle dolması sağlanmıştır (ASTM D4531-86). Malzemedeki boşluk hacmine bağlı olarak değişim gösteren bu parametrelerden G_s değeri kilde 2.53 ± 0.13 , siltli killi tında 2.51 ± 0.18 , kumlu tında 2.59 ± 0.17 , tınlı kumda 2.58 ± 0.1 , siltli tında 2.54 ± 0.13 , kumda 2.62 ± 0.07 ve göl taban malzemesinde 2.42 olarak belirlenmiştir. ρ_b parametresi ise kilde 1.55 ± 0.09 ,

siltli killi tında 1.58 ± 0.14 , kumlu tında 1.74 ± 0.1 , tınlı kumda 1.79 ± 0.11 , siltli tında 1.67 ± 0.12 , kumda 1.84 ± 0.05 ve göl taban malzemesinde ise 1.177 grcm^{-3} olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.2).



Şekil 3.3. Sediman malzemelerinin tane boyu sınıflandırılması (USDA,1972).

3.2.3. Gözenekliliğin belirlenmesi

Toprak örneklerine ait gözeneklilik değerleri, laboratuvar çalışmaları kapsamında belirlenen özgül ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Bkz. Ek 4) (ASTM D425-88). Karot örneklerinde tanımlanan altı farklı hidrolik birim için belirlenen ortalama gözeneklilik değerleri kil (% 38.76)>siltli killi tın (% 35.41)>siltli tın (% 34.48)>kumlu tın (% 32.79)>tınlı kum (% 30.78)>kum (% 29.85) şeklinde bir değişim göstermektedir. Göl taban malzemesinde ise gözeneklilik % 51.29 hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.2).

3.2.4. Özgül verim ve özgül tutulma deneyleri

Toprak örneklerinin özgül verim ve özgül tutulma değerleri santrifüj (ASTM D 425-88) ile belirlenmiştir (Bkz. Ek 4). Bu yöntemde her bir toprak örneği için belirlen eşdeğer nem içeriğinin kuru birim ağırlık değeri ile çarpılması ile hacimsel su içeriği eşdeğeri elde edilmiştir. Daha sonra bu değer PIPER (1933) tarafından bulunan düzeltme faktörü ile çarpılması ile özgül tutulma (S_r) ve özgül verim (S_y) değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda alüvyon çökeldi

birimlerde tane boyu dağılımına bağlı olarak özgül verim değerinin % 1.24 ile 17.09 ve özgül tutulma değerlerinin ise % 11.21 ile 41.58 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.2).

3.2.5. Toprak örneklerinin organik madde içeriğinin (%OM) belirlenmesi

Toprak örneklerinin organik madde içeriği ASTM D2974–87 nolu standardı kullanılarak belirlenmiştir. Organik madde içeriğinin belirlenmesinde kullanılan krozelere 1000 °C’ de sabit tartıma getirilmiş ve havadan nem kapmaması amacıyla desikatörde soğutulmuş salt kroze ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra krozelere ortalama 10 g kadar toprak örneği konularak örneklerdeki nemin alınması amacı ile 105 °C’de 24 saat fırınlanmıştır. Bu işlemten sonra ise organik madde içeriğinin belirlenmesi amacı ile 440 °C’de 4 saat süreyle fırında bekletilmiş ve organik madde içerikleri % olarak belirlenmiştir (Bkz. Ek 4). İnceleme alanında organik madde miktarı ince tane boyunun hakim olduğu Eymir Bataklığı - Eymir Gölü arasındaki birimlerde % 1.04 ile 3.95 arasında değişim gösterirken daha kaba tane boyunun baskın olduğu Mogan Gölü-Eymir Bataklığı arasında ise % 0.45 ile 3.10 değerleri arasında değerler almaktadır. Bataklık alanda yer alan birimlerde organik madde içeriğinin daha fazla olması alandaki bitki ve hayvan organizma faaliyetindeki canlılığın bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

3.2.6. Hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesi

Arazide sondaj çalışmaları sırasında alınmış toprak örneklerinde hidrolik iletkenlik katsayısının (K) belirlenmesinde değişik boyutlarda (Çizelge 3.3) kolon düzeneklerine sahip Darcy deney sistemleri (Foto 3.5) kullanılmıştır. Yeraltısuyu akım hareketinin meydana geldiği gözenekli ortam genelde geçirimsizliği düşük birimlerden oluştuğundan toprak örneklerinde düşen seviyeli permeametre deneyleri (ASTM D 5094–902) yapılmış ve K değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Ek-4). Hesaplamalar sonucunda hidrolik iletkenlik katsayısının kum biriminde, 2.175×10^{-2} ile 6.694×10^{-4} , tınlı kum, 8.078×10^{-3} ile 1.064×10^{-5} ; kumlu tın 4.703×10^{-2} ile 3.107×10^{-5} ; siltli tın, 3.445×10^{-3} ile 5.165×10^{-6} ; siltli killi tın 2.070×10^{-2} ile 1.294×10^{-5} ve kil, 4.151×10^{-4} ile 1.118×10^{-5} m/gün arasında değişen değerler aldığı belirlenmiştir (Bkz Çizelge 3.2). Göl tabanında yer alan ve kalınlığı yer yer 0.4 ile 1.5 m (UKAM, 1998) arasında değişim gösteren çamur (mırık) biriminin hidrolik iletkenlik değeri ise 2.360×10^{-4} m/gün olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. Hidrolik birimlere ait jeohidrolojik parametre değerleri.

Hidrolik birim	Örnek sayısı	G_s (Boyutsuz)			ρ_B (gr/cm ³)			n (%)			S_y (%)		
		Maks.	Min.	Ort	Maks.	Min.	Ort	Maks.	Min.	Ort	Maks.	Min.	Ort
Kil	11	2.660	2.318	2.526	1.687	1.369	1.547	42.81	35.45	38.76	3.959	1.236	2.476
Siltli killi tın	6	2.706	1.740	2.379	1.835	1.224	1.529	42.13	29.67	35.41	7.642	0.900	3.113
Kumlu tın	24	2.801	2.033	2.586	1.856	1.481	1.737	36.02	27.15	32.79	16.909	1.477	5.117
Tınlı kum	20	2.716	2.341	2.577	1.947	1.580	1.786	35.77	28.06	30.78	16.588	1.381	9.428
Siltli tın	17	2.742	2.238	2.544	1.818	1.425	1.665	43.06	29.03	34.48	8.052	1.151	3.657
Kum	11	2.735	2.532	2.617	1.904	1.760	1.836	31.61	28.30	29.85	17.090	10.966	13.403

S_r (%)			OM (%)			K_x (m/gün)		
Maks.	Min.	Ort	Maks.	Min.	Ort	Maks.	Min.	Ort
41.576	31.981	36.282	3.601	1.670	2.521	4.151×10^{-4}	1.118×10^{-5}	7.783×10^{-5}
41.225	24.558	32.292	3.362	1.311	3.113	2.070×10^{-2}	1.294×10^{-5}	4.274×10^{-3}
34.150	15.831	27.673	3.103	0.807	1.708	4.703×10^{-2}	3.107×10^{-5}	3.304×10^{-3}
34.386	12.709	21.361	3.448	0.370	1.769	8.078×10^{-3}	1.064×10^{-5}	1.666×10^{-3}
41.538	20.977	30.828	3.948	1.093	2.465	3.445×10^{-3}	5.165×10^{-6}	7.973×10^{-4}
19.640	11.214	16.444	1.563	0.447	1.059	2.175×10^{-2}	6.694×10^{-4}	5.084×10^{-3}

Çizelge 3.3. Permeametre deneyinde kullanılan kolonlar

Kolon Adı	L (cm)	r (cm)
D-1	9.1	3.25
D-2	12.5	2.50
D-3	9.0	1.80
D-4	6.5	1.85



Foto 3.5. Hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesinde kullanılan kolon düzenekleri.

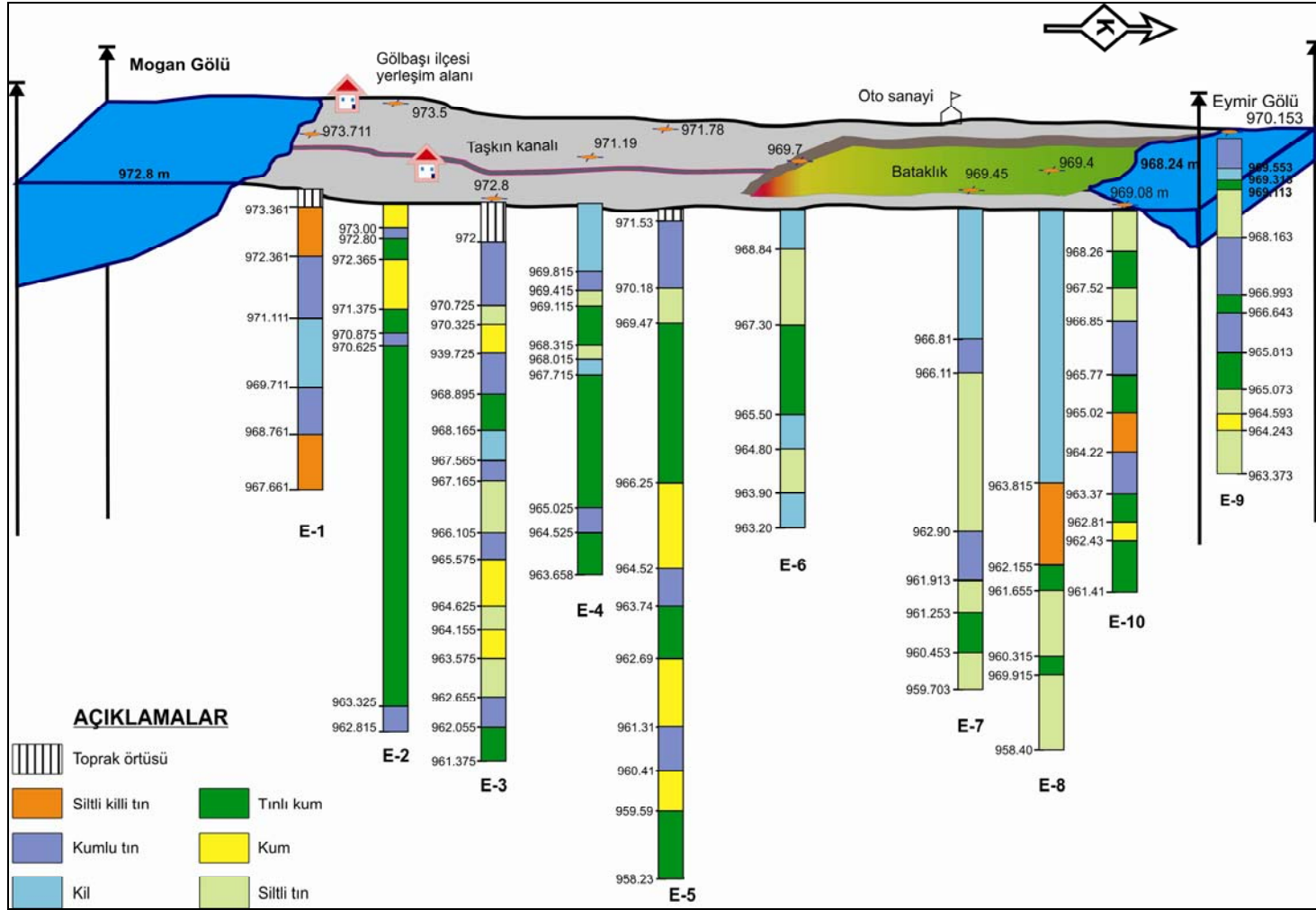
3.3. Yeraltısuyu Taşıyan Birimler ve Yayılımları

Sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen karot örneklerinin jeohidrolojik açıdan değerlendirilmesi ile alüvyon çökelden oluşan hidrojeolojik yapının genellikle heterojen, geçirimsizliği düşük kil, siltli tın, siltli killi tın, kumlu tın, tınlı kum ve kum gibi ince taneli birimlerin hakim olduğu pekişmemiş sedimanlardan meydana geldiği belirlenmiştir. Hidrojeolojik yapıyı tanımlamak amacı ile açılan sondaj kuyularına ait kuyu kütüklerinde de görüldüğü gibi (Şekil 3.4) birimler sediman çökelişi sırasında etkin olan süreçlere (çökeltme ortamı, iklim vb.) bağlı olarak düşey ve yanal yönde değişen stratigrafik bir istiflenme göstermektedir. Bu durum bölge genelinde yapılmış olan yüzey jeofizik etütlerinde de belirgin bir biçimde görülmüştür. Bu heterojen yapı 10 adet sondaj kuyusuna ait karotlardan alınan 88 adet toprak örneğinin hidrolik iletkenlik değerlerinin alüvyon çökel içinde gerek yatay gerekse düşey yönde konuma bağlı olarak değişim göstermesi şeklinde de gözlenmektedir (Şekil 3.5). Bu durum tanımlanan birimlerin, hidrojeolojik yapı içerisinde sürekli bir tabakalanma göstermeyip yanal yönde jeohidrolojik özellikleri

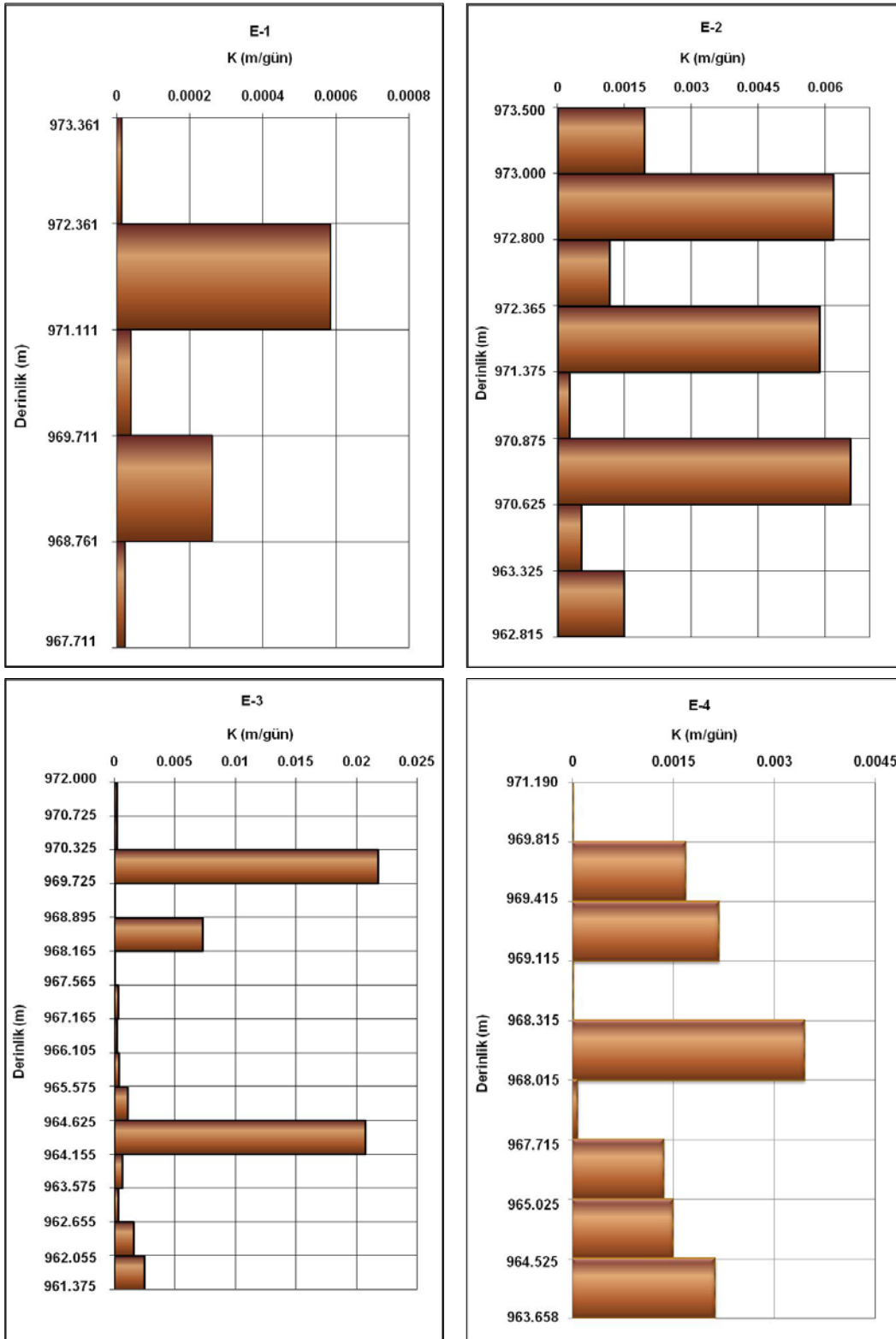
bir birinden farklı zonlar şeklinde alanlar oluşturmasına neden olmuştur (şekil 3.6). Birimlerin heterojen bir istiflenme göstermesi Glbafı Havzası genelinde iklim ve paleocoğrafik koşulların sürekli değişken olduğu ve bundan dolayıda çökelme sırasındaki sedimantasyon sürecinin durağan olmayan veya örgülü akarsu koşulları sırasında gerçekleştiğini göstermektedir.

İki gl arasında yeraltısuyu akımı ile kirletici hareketinin hızı ve yönü tane boyu dağılımı ve gözenek hacmi ile kontrol edilmektedir. Bu hareket sırasında yeraltısuyu tercihli olarak içerisinde daha kolay hareket edebileceği yüksek geçirimli zonlara yönelmektedir (Bkz. şekil 3.6). Bundan dolayı hidrojeolojik sistem içerisinde konuma bağlı olarak değişim gösteren birimlerin geçirimlilik özelliği yeraltısuyu akım hareketinde basınçlı akım koşullarının oluşmasına neden olmaktadır.

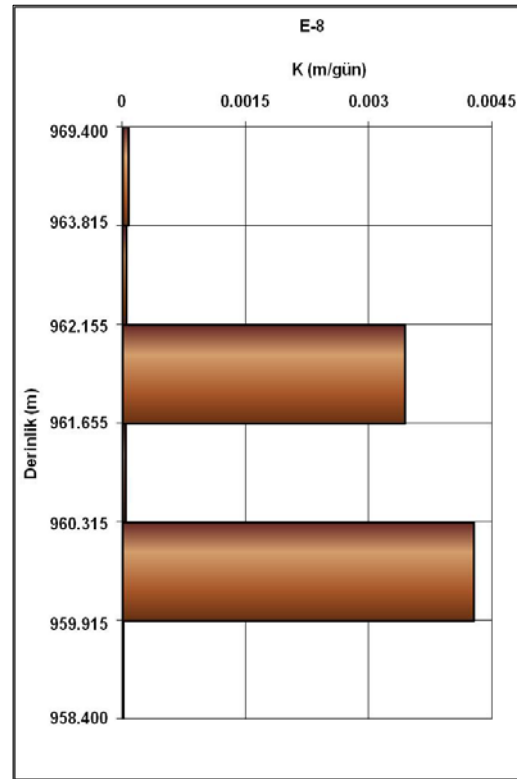
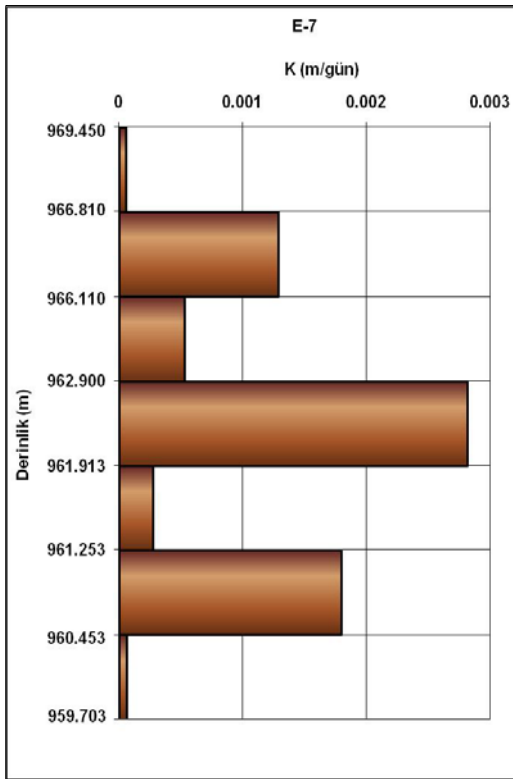
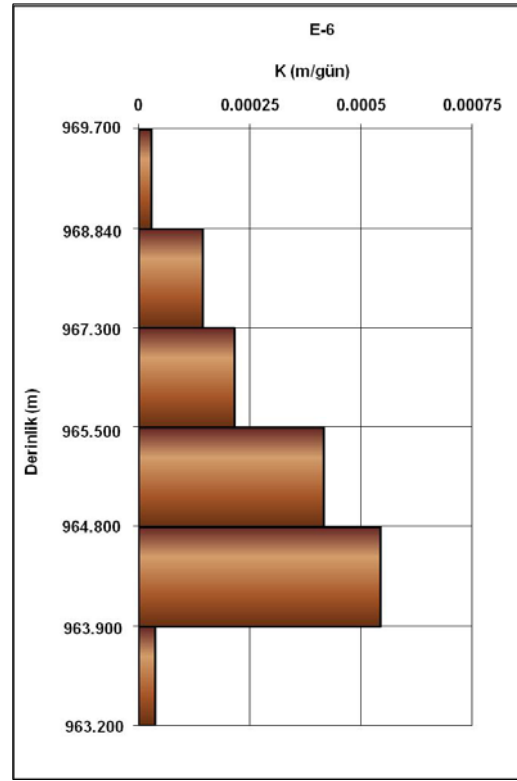
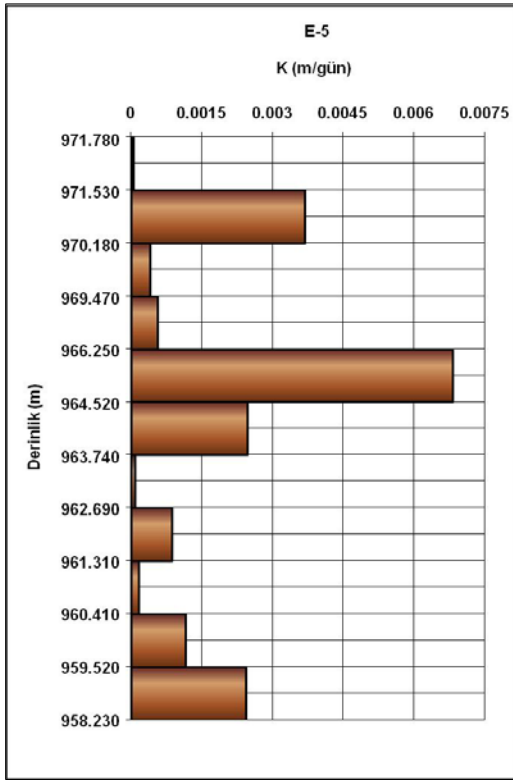
Çalışma alanında değişik lokasyonlarda özel veya kamu kuruluşları tarafından araştırma veya yeraltısuyu temini amacıyla 4 ile 100 m arasında değişen derinliklerde sondaj kuyuları açılmıştır (Bkz. şekil 3.2). Bu kuyulardan Mogan Gölü mansabında yer alan 48597 nolu sondaj kuyusunda 29. metrede, Glbafı Sanayi bölgesinde yer alan şaşmaz Granit İşletmesi için 2004 yılında açılan sondaj kuyusunda (-1) ise 24 nc. metrede ve Eymir Gölü membasında yer alan 48592 nolu sondaj kuyusunda ise 31 inci. metreden sonra Pliyosen yaşlı marnlı birimlere girilmiştir. Bununla beraber inceleme alanı genelinde Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller KD-GB yönünde yayılım gösteren Pliyosen yaşlı gölsel çökeller (Foto 3.6) ve Triyas yaşlı metamorfik şistli birimler tarafından temas noktaları boyunca hem yatay hem düşey yönde sınırlandırmaktadır. İnceleme alanı genelinde kalın tabakalı ve geçirimliliği çok düşük ($<10^{-10}$ m/s) olan bu birimlerden sisteme herhangi bir yeraltısuyu katkısı bulunmamaktadır.



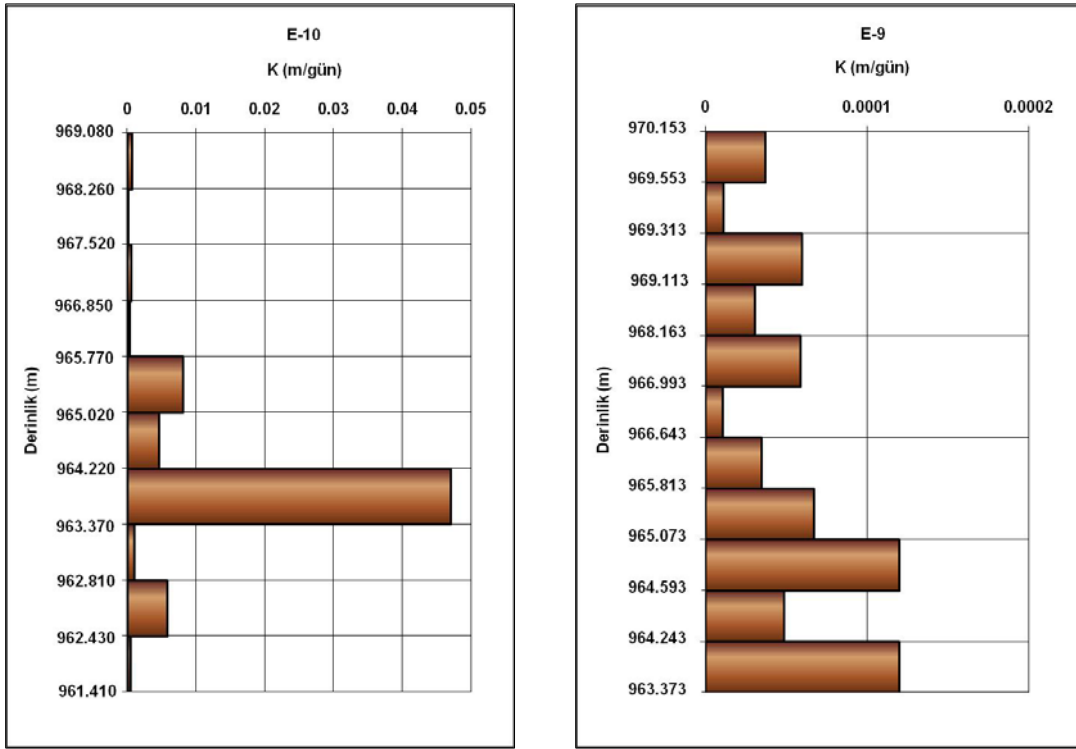
Şekil 3.4. İnceleme alanında açılan kuyularına ait kuyu kütükleri.



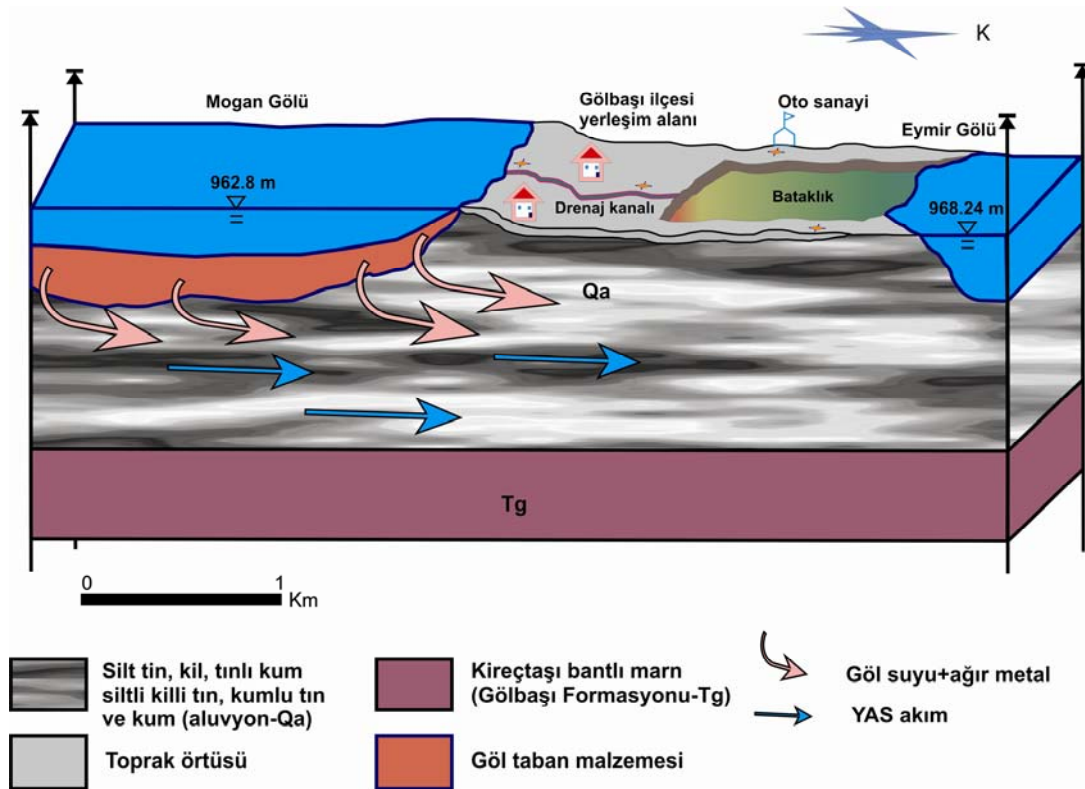
Şekil 3.5. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında hidrolik iletkenliğin düşey yönde değişimi.



Şekil 3.5. devam ediyor.



Şekil 3.5. devam ediyor.



Şekil 3.6. İki göl arasında kavramsal yeraltısuyu akım modeli

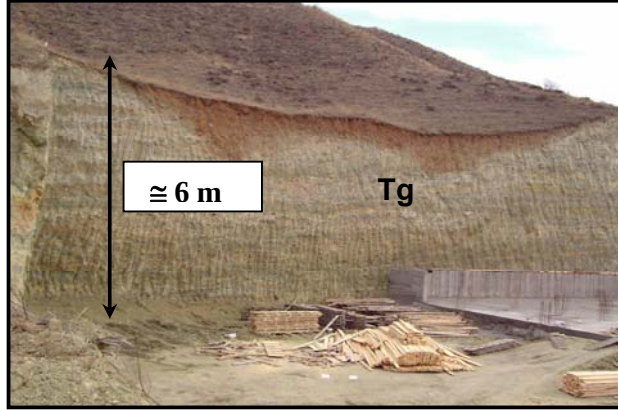


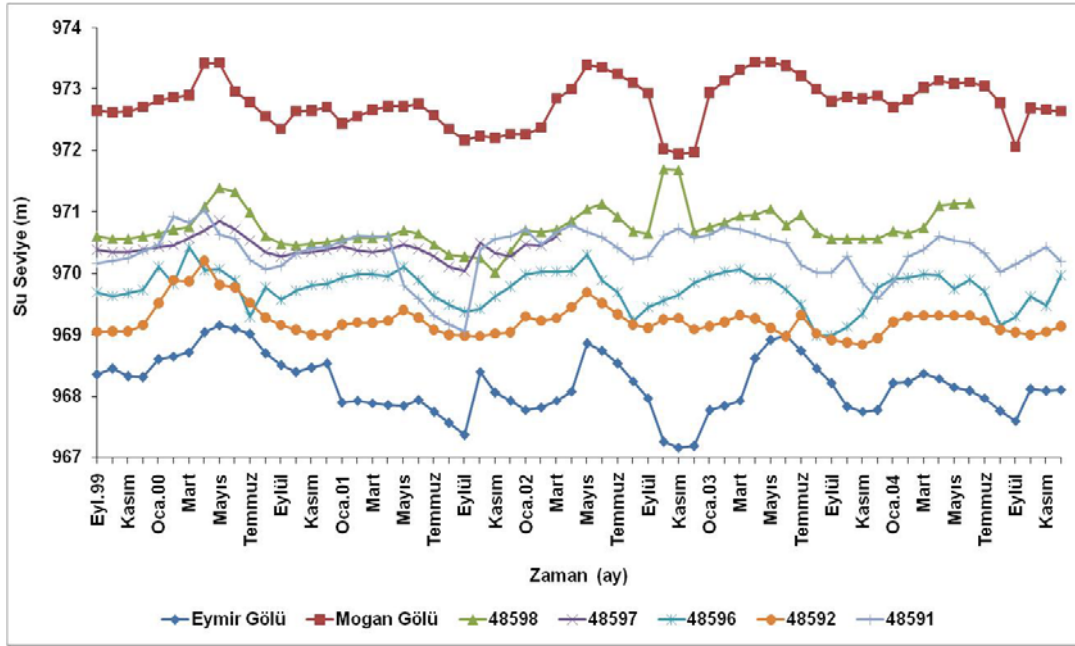
Foto 3.6. Çalışma alanını KB-GD yönünde sınırlandıran ve Gölbaşı Formasyonu'nu (Tg) oluşturan geçirimsiz marn birimi (Bkz. Şekil 3.1).

3.4. Göl-YAS ilişkisi

İnceleme alanı genelinde yeraltısuyu akım yönünü ve yüzeysuyu kaynakları ile olan ilişkisini belirlemek amacı ile bölge geneline ait yeraltısuyu eş potansiyel eğrileri oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 3.2). Eğrilerin elde edilmesi aşamasında 16.10.1994 tarihinde Gölbaşı Havzası genelinde yer alan kuyularda gözlenmiş olan YAS seviyeleri kullanılmıştır. Haritada da görüldüğü gibi eğriler Mogan Gölü'nün güneyinde, batısında ve doğusunda göl sınırına paralel veya paralele yakın bir seyir izlemekte model alanı içerisinde kalan alanda ise Mogan Gölü'ne dik Mogan–Eymir gölleri doğrultusunda gerçekleşmektedir. Bu durum inceleme alanı dışında yeraltısuyu akım yönünün Mogan Gölü'ne doğru olduğunu yani yeraltısuyunun gölü beslediğini, inceleme alanında ise eğrilerin Mogan Gölü'ne dik olduğu yerlerde yeraltısuyunun Mogan Gölü'nü beslemediğini göstermektedir. Mogan ve Eymir gölleri arasında ise Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru bir yeraltısuyu akım hareketinin olduğu ve Mogan Gölü'nün yeraltısuyunu beslediğini anlamına gelmektedir.

İnceleme alanı içerisinde yer alan sondaj kuyularında ölçülen YAS seviyeleri ile göl su seviyelerinde zaman içerisinde meydana gelen değişimler (Şekil 3.7) incelendiğinde de Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru bir yeraltısuyu akım hareketini olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 de görüldüğü gibi her bir gözlem noktasında (kuyu veya göl) ölçülen su seviyeleri arasında meydana gelen değişim sürecinde benzer bir salınım hareket trendi gözlenmektedir. Özellikle göllere yakın kuyularda ölçülen YAS seviyelerinde gözlenen değişim süreçleri göl ile YAS

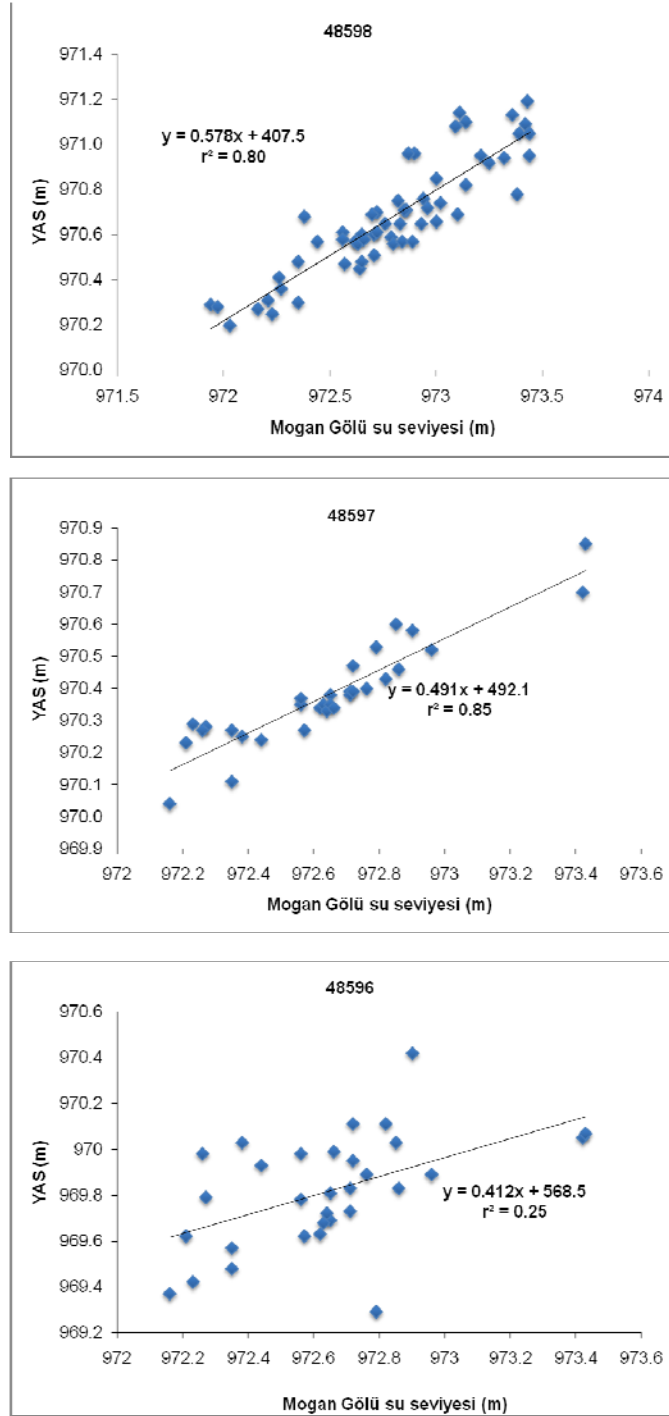
seviyeleri arasında birebir benzerlik göstermektedir. Örneğin, Mogan Göl su seviyesi ile gölün KD çıkışında yer alan 48598 ve 48597 nolu kuyulara ait YAS seviyeleri arasında paralel bir değişim süreci belirlenmiştir. Su seviyelerine ait bu eğriler arasındaki benzerlik, gerek konumları gerekse kuyuların kesmiş olduğu birimlerin jeohidrolojik özelliklerinden ve düşey - yatay yöndeki yayılımından dolayı bu birimlere Mogan Gölü membasında sadece Mogan Gölünden bir beslenme olduğunu göstermektedir. Buna benzer bir hareket Eymir Gölü mansabında yer alan 48591 ve 48592 nolu kuyularda gözlenen YAS değerleri ile Eymir Gölü su seviyesi değerleri arasında gözlenmektedir (Bkz. Şekil 3.7). Bu durum inceleme alanında Mogan Gölü'nden beslenen yeraltısuyunun tekrar Eymir Gölü'ne boşaldığı anlamına gelmektedir.



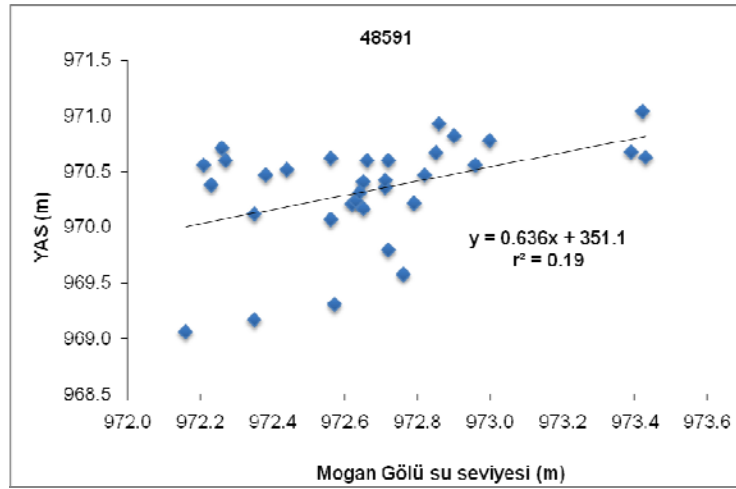
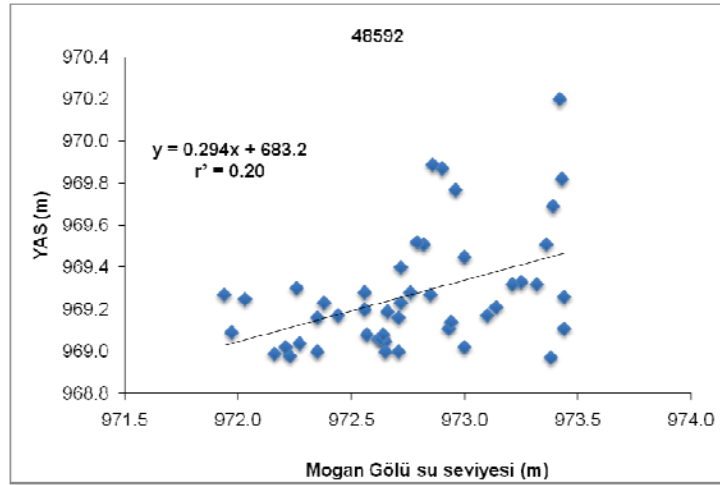
Şekil 3.7. Mogan ve Eymir gölü su seviyeleri ile kuyularda ölçülen YAS seviyeleri aylık değişim grafiği.

Mogan Gölü'ne ait su seviye değerleri ile çalışma alanında yer alan kuyularda gözlemlenen YAS değerleri arasındaki ilişki istatistiksel yöntemler kullanılarak da değerlendirilmiştir. Gölün çıkışında yer alan 48598 ve 48597 nolu kuyularda gözlenen YAS değerleri ile göl su seviyesi arasındaki korelasyon katsayısı (r^2) 0.8 ile 0.85 değerlerini almakta, gölden uzaklaştıkça bu değer azalarak 48596 nolu kuyuda 0.25, 48592 ve 48591 nolu kuyularda ise 0.2 ve 0.19 olmaktadır (Şekil 3.8). Bu değişim süreci Mogan Gölü mansabından uzaklaştıkça göl seviyesinde

meydana gelen değişimlerin kuyularda ölçölen YAS değişimleri üzerindeki anlık etkilerinin görölebilmesi için süreye ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

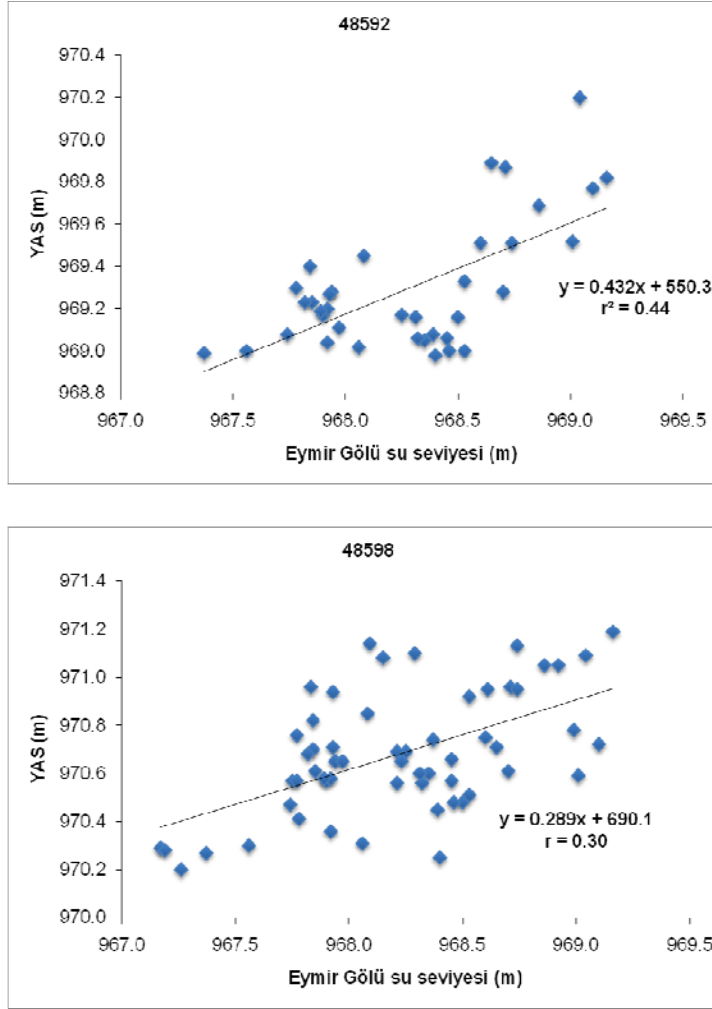


Şekil 3.8. Mogan Gölü ile sondaj kuyularında ölçölen YAS seviyeleri arasındaki ilişki



Şekil 3.8. devam ediyor

Benzer bir ilişki Eymir Gölü su seviye değerleri ile inceleme alanında yer alan kuyulardaki gözlenen YAS değerleri arasında da belirlenmiştir. Göl'ün mansabında yer alan 48592 nolu kuyudaki YAS değerleri ile göl suyu seviye değerleri arasındaki r^2 değeri 0.44 ve bu değer Mogan Gölü kaynak kısmında yer alan 48598 nolu kuyuda ise 0.30 olmaktadır. Bu değişim süreci Eymir Gölü seviyesinde meydana gelen değişimlerin kuyularda ölçülen YAS değişimleri üzerindeki etkisinin az olduğunu gösterir. Çünkü Eymir Gölü su seviyesinde meydana gelen değişimler inceleme alanında yeraltısuyu akım yönünün Eymir Gölü'ne doğru olmasından dolayı YAS seviye değişiminde etkili olmamaktadır.



Şekil 3.9. Eymir Gölü ile sondaj kuyularında ölçülen YAS seviyeleri arasındaki ilişki

3.5. Yüzey ve Yeraltısuyu Kirlenme Potansiyeli

Gölbaşı ilçesi sınırları içerisinde yapılaşma Mogan Gölü çevresinde ve Mogan-Eymir gölleri arasında yer alan bölge üzerinde meydana gelmektedir. Özellikle Mogan Gölü çevresinin coğrafik olarak yapılaşmaya daha uygun konumda olması gölü çevreleyen alan içerisinde hızlı ve düzensiz bir yapılaşmanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Altınbilek vd. (1995) tarafından yapılan çalışmalarda yapılaşmanın meydana geldiği bu yerlerde kanalizasyon sisteminin tam olarak çalışmadığı, belediye sınırları içerisindeki konut ve işyerlerine ait sıvı ve katı atıklar sızdırmalı foseptiklere, ilçe merkezi içinden geçerek Mogan Gölü'ne ulaşan Sukesen Deresi'ne ve göle yakın kısımlarda ise doğrudan göle verildiği belirlenmiştir. Bununla beraber Mogan ve Eymir gölleri arasında, çevrelerinde ve

göllerini besleyen dereler üzerinde irili ufaklı birçok endüstriyel tesis (kiremit, granit ve mermer ocakları, tank fabrikası, TEK'e ait tesisler, makine fabrikaları, kesimhaneler, katı atık depo alanı) ve göl çevresinde dinlenme-eğlenme amaçlı birçok işletme bulunmaktadır. Tesislerin bir çoğu Ankara-Konya yolu üzerinde bulunurken diğerleri ise Haymana yolu üzerinde yer almaktadır. Bu tesislerin çoğunda arıtma sisteminin olmadığı (Mekon Alüminyum Fabrikası, vb.) arıtma tesisi olanlar ise (Tipo Tavuk Çiftliği vb.) arıtma işleminden sonra tasfiye edilen atıksuları göllere ve göllerini besleyen derelere boşalttığı saptanmıştır. Örneğin 19.4.1994 tarihinde Tatlım Deresi'nde petrol yağları görülmüş ve bu yağların Özmak Makina Fabrikası tarafından atıldığı belirlenmiştir. Halen tüm bu endüstri tesislerinde oluşan evsel nitelikli atıksular belediyeler tarafından vidanjör ile çekilmekte ve Haymana yolu üzerinde boş bir araziye dökülmektedir. Bu kirleticiler, havza içinde bulunan bu bölgeden, yağmur ve kar erimesi sonucu oluşan akıntılar ile yine Mogan Gölü'ne karışmaktadır. Ancak bu yerleşimlerden zaman zaman göle doğrudan deşarj yapıldığı göl suyu analizlerinden anlaşılmaktadır (Altınbilek vd. 1995). Özellikle taş ocakları ve metal üretiminin yapıldığı endüstri alanlarına ait As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal bakımından zengin sıvı veya katı atıklar herhangi bir arıtma sürecinden geçirilmeksizin dolaylı yollardan göllere veya göllerini besleyen derelere verilmiştir (Foto 3.7). Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) (1998) tarafından yapılan çalışma sonucunda Mogan Gölü dip çamuru yüzey ve sondaj örneklerinde çok yüksek miktarlarda ağır metal saptanması (ortalama Cu, 1138.7; Pb, 122.8; Zn, 540.3; Ni, 216.6; Fe, 15482.7; Cd, 3.1 ve Mn, 577.9 ppm) göle ağır metalce zengin atık su girdisinin veya gölde batmış motorlu tekne/taşıt araçları olabileceği gibi teknelerden göle düşürülmüş ve/veya atılmış kirleticiler olabileceği sonucuna varılmıştır. İklimsel, topoğrafik, jeolojik faktörler, bitki örtüsü ve tarımsal faaliyetler sonucu meydana gelen erozyonla taşınan sedimanlar, briket imalathaneleri, taş ocakları ve göle yakın bazı tesisler başta olmak üzere çeşitli işletmelerden kaynaklanan evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular ile tarımsal amaçlı faaliyetlerin neden olduğu kirleticiler, Mogan Gölü'nde kirlilik yaratan dış kaynaklı unsurlardır (<http://www.ankaragolbasi.bel.tr>).

İnceleme alanında yer alan Mogan Gölü'nde meydana gelen bu kirlenme Mogan-Eymir göllerini arasındaki yüzey (atıksu kanalı) ve hidrojeolojik ilişkiden dolayı

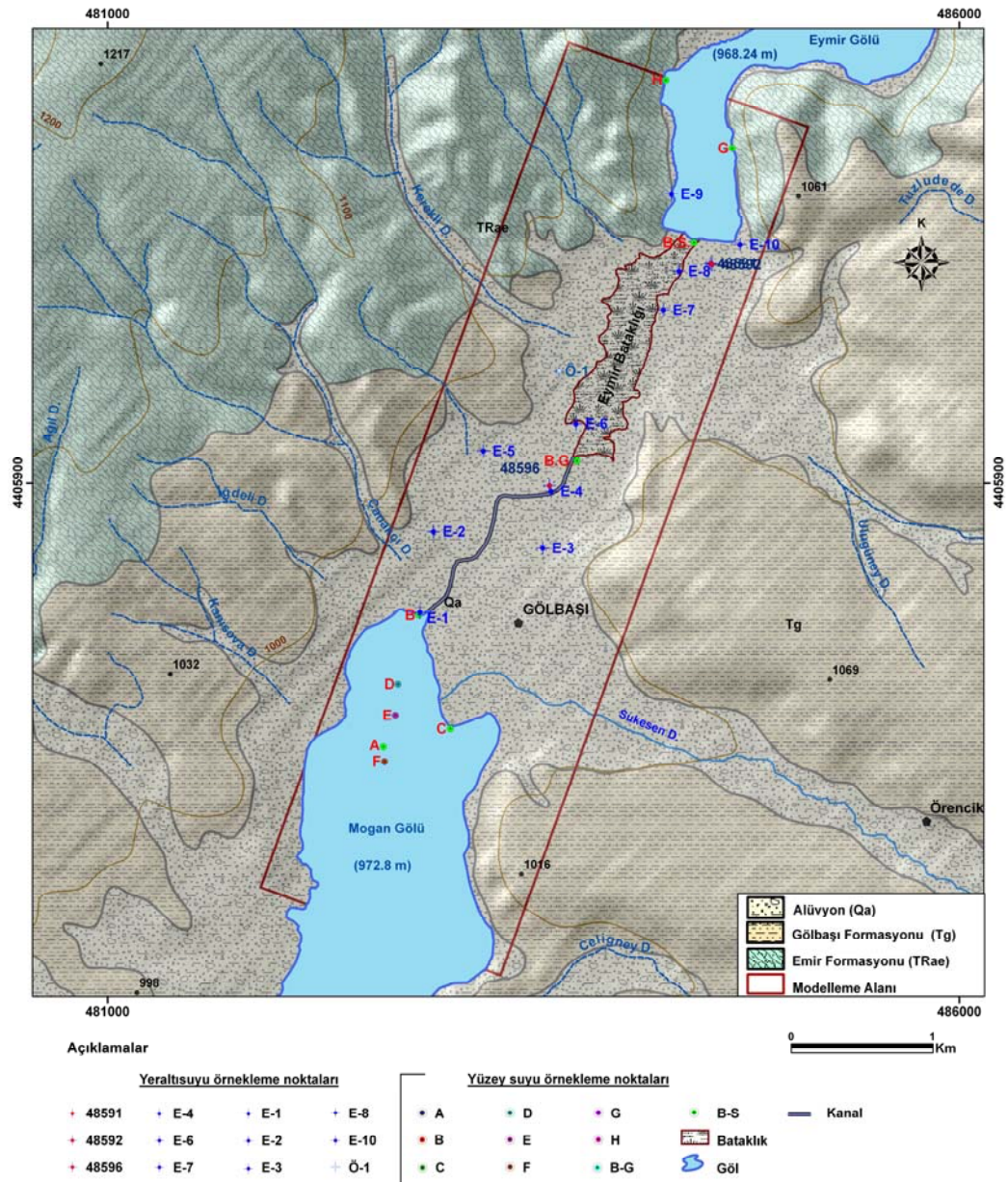
(yeraltısuyu hareketinin Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru olması) su kaynaklarında ve katı matrisinde çeşitli süreçler sonucunda kirlenmeye neden olmaktadır. Bu durum iki göl arasındaki hidrojeolojik sistemde kirleticilerin taşınımı sırasında katı matriks-taşıyıcı unsur ve kirletici arasında oluşan fiziksel veya kimyasal süreçlere bağlı olarak kirleticilerin katı matriks yüzeylerinde tutulması şeklinde meydana gelmektedir. Bu kirlenmenin etkisi alüvyal çökeli oluşturan birimlerin jeohidrolojik özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



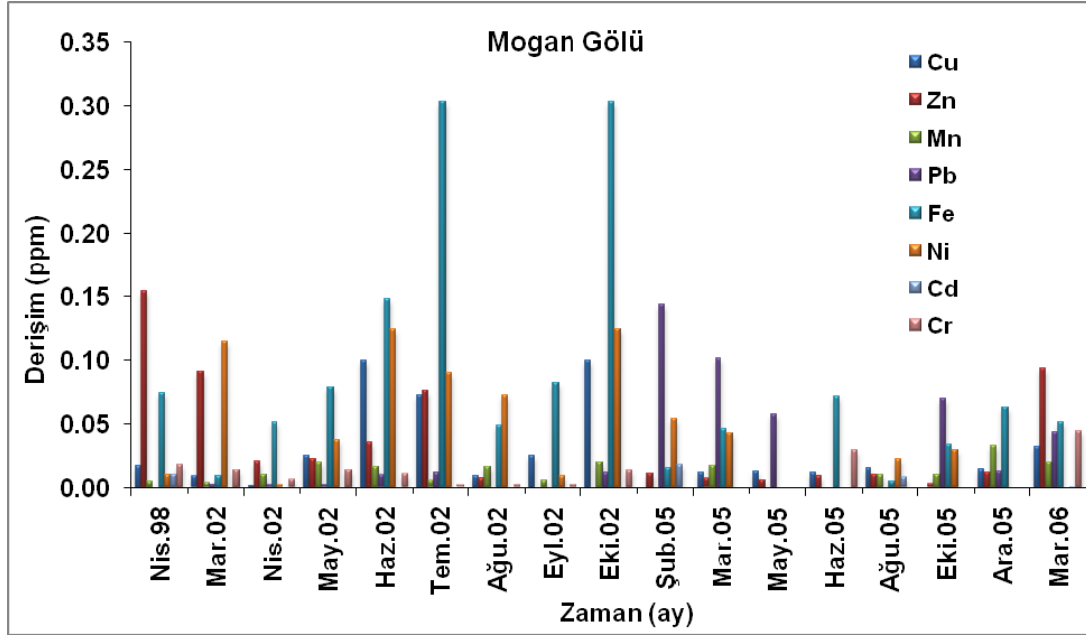
Foto 3.7. Mogan ve Eymir göllerinde kirlenmeye neden olan etkenler (ÖÇKK, 2003).

İnceleme alanında yer alan yüzey-yeraltısuyu kaynaklarında (Şekil 3.10) mevcut su kalitesini ve su kalitesinde bozunmaya neden olan kimyasal parametreleri belirlemek amacı ile 2005 Ocak- 2006 Mart döneminde örnekler alınmıştır. Alınan su örneklerine ait kimyasal analizler (anyon, katyon, ağır metaller, kirlilik) H.Ü. UKAM-Su Kimyası Laboratuvarı'nda yapılmış olup elde edilen sonuçlar Ek-2 de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarında değişik miktarlarda ağır metal (Zn, Cu, Pb, Fe, Mn , Ni) ve azotlu organik bileşenler (NO_3^- , NH_4) gibi kirletici maddeler belirlenmiştir. Belirlenen bu maddelerin her hangi bir su kaynağında kirletici konumunda bulunması için o maddenin uluslararası veya yerel kurumlar tarafından kabul görülen standart değerlerin üzerinde olması gerekmektedir.

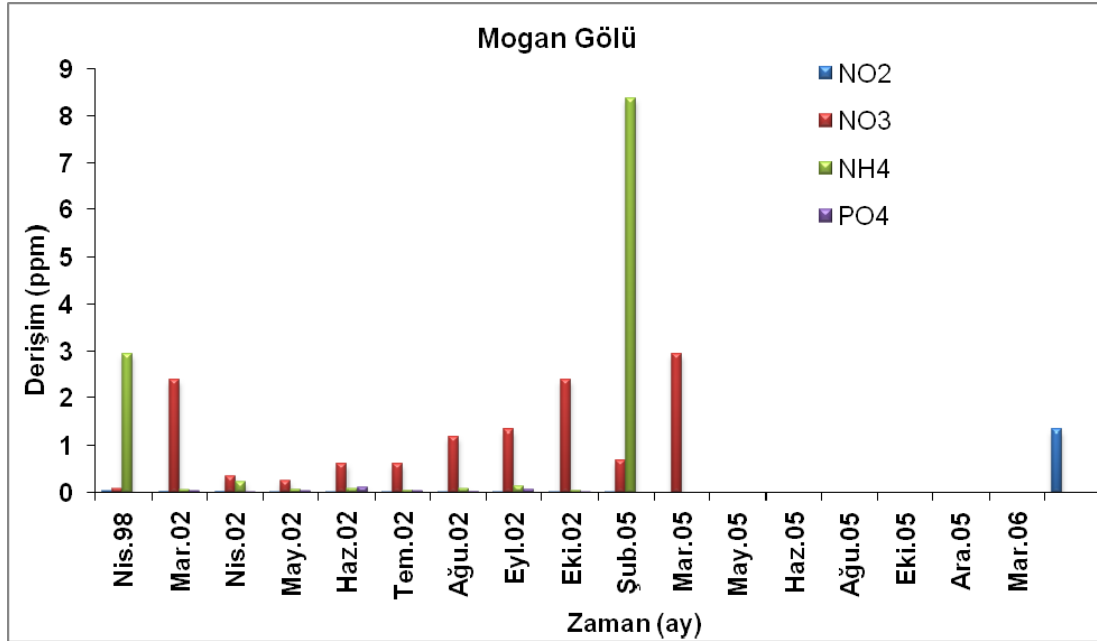
ÖÇKK (2003), HÜ-UKAM (1998) ve bu tez çalışması (2005-2006) kapsamında kirlenici kaynak durumunda yer alan Mogan Göl suyu kalitesini belirlemek amacı ile farklı lokasyonlarda su örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında ölçülen maksimum değerler baz alındığında ağır metaller (Şekil 3.11) ve azotlu organik bileşenlerin derişimleri (Şekil 3.12) TS 266 standartına göre (Çizelge 3.4) sınıf 1 ve 2 için uygun görülen limit değerlerinin sınırında veya üzerinde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.10. İnceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltısularında örnekleme yapılan lokasyonlar.



Şekil 3.11. Mogan Gölü'nde ölçülen ağır metal derişimleri (ÖÇKK, 2003; Hacettepe Üniversitesi, 1998, 2005, 2006).



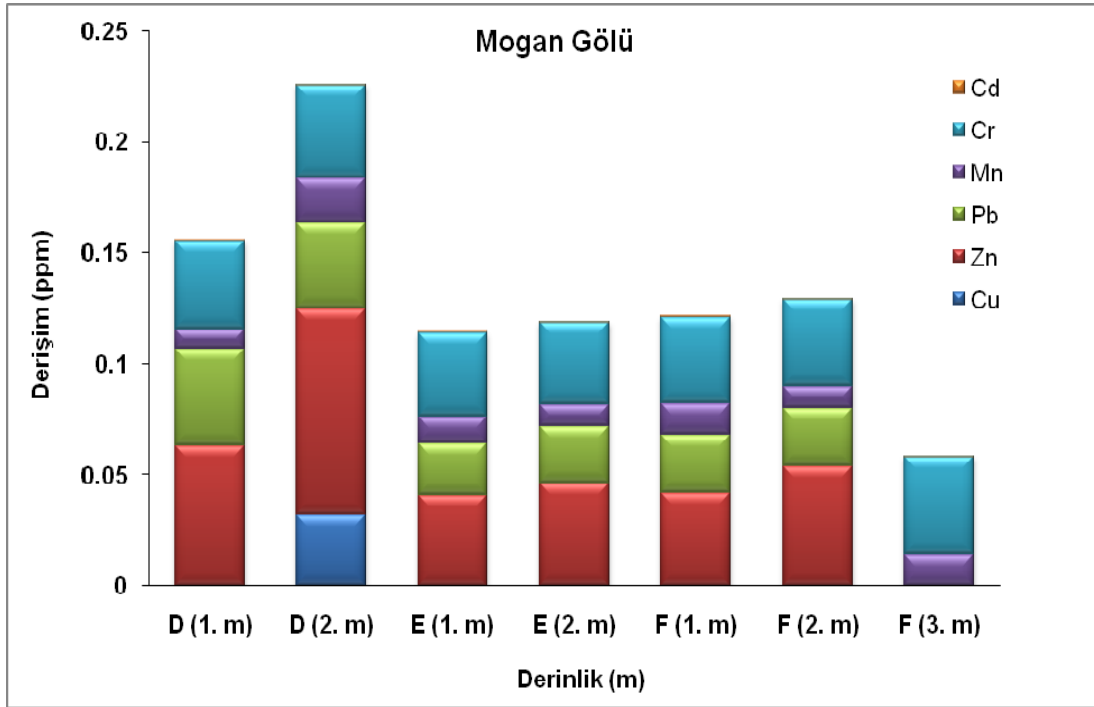
Şekil 3.12. Mogan Gölü'nde ölçülen azotlu organik bileşikler (ÖÇKK, 2003; Hacettepe Üniversitesi, 1998, 2005, 2006).

Çizelge 3.4. TS 266 (29 Nisan 2005-TES) göre insani tüketim amaçlı sularda olması gereken maksimum limit değerleri (ppm).

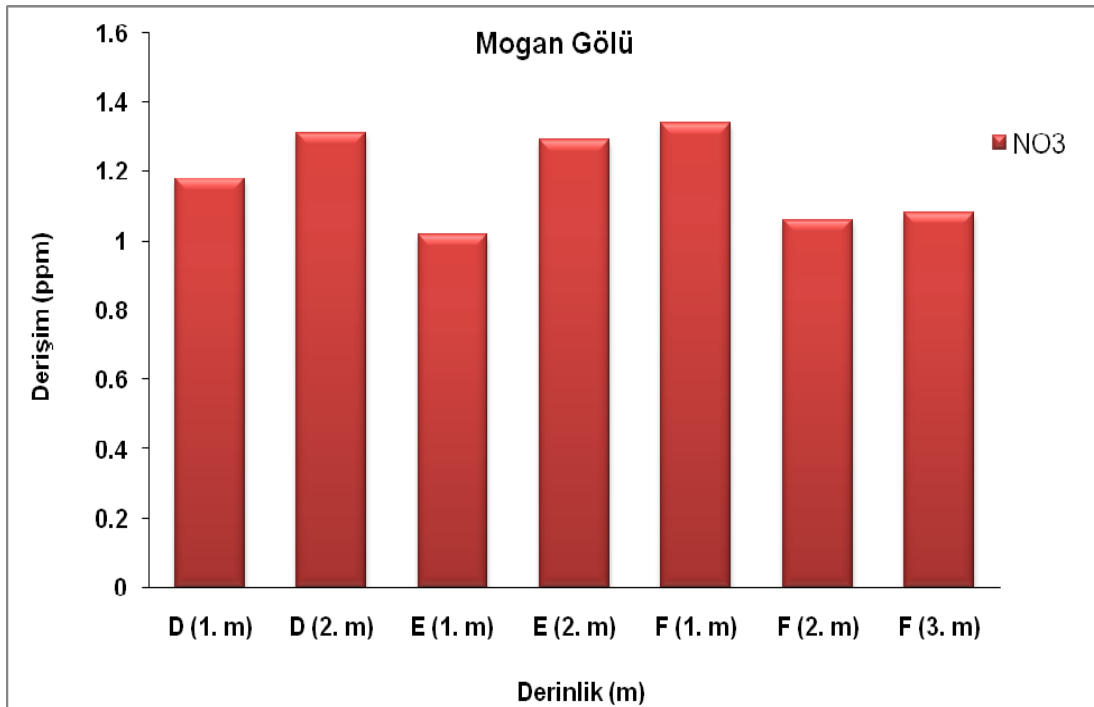
Özellik	Değer, en çok	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
Nitrat	25	50
Nitrit	0.10	0.50
Amonyum	0.05	0.5
Kadmiyum	0.005	0.005
Krom	0.05	0.05
Bakır	0.1	2
Kurşun	0.01	0.01
Civa	0.001	0.001
Nikel	0.02	0.02
Mangan	0.02	0.05
Çinko	0.2	2
Demir	0.05	0.2

Sınıf 1 - Kaynak (memba) suları, Sınıf 2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular, Sınıf 2 sular; Tip 1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları, Tip 2 - İçme ve kullanma suları

İnceleme alanında kirletici memba konumunda olan Mogan Gölü'nde kirleticilerin derinliğe bağlı olarak derişim dağılımlarını belirlemek amacı ile gölde değişik derinliklerde su örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde yapılan analizler sonucunda göl suyunda belirlenen ağır metallerden özellikle Cu, Zn, Mn ve Pb metallerin homojen kirleticilerin düşey yöndeki dağılımları bakıldığında göl suyunda NO₃ homojen bir dağılım göstermektedir (Şekil 3.14). UKAM (1998) tarafından yapılan çalışmalarda da göl suyunda belirlenen kimyasal maddelerin gerek düşey gerekse yatay yönde homojen bir karışım gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.13. Mogan Gölü'nde belirlenen ağır metallerin düşey yöndeki dağılımı (Mart 2007)



Şekil 3.14. Mogan Gölü'nde belirlenen azotlu organik kirleticilerin düşey yöndeki dağılımı (Mart 2007)

4. YERALTISUYU AKIM MODELİ

Hidrojeolojik sistemlerinde yeraltısuyu akım hareketinin üç boyutlu benzeşimini temsil eden matematiksel modeller, doğal ortamlarda meydana gelen fiziksel ve/veya kimyasal süreçleri bilgisayar ortamına taşıyan programlardır. Model programları, hidrojeolojik çalışmalarda akifer sisteminde sınır koşullarına bağlı olarak meydana gelen bir, iki ve üç boyutlu yeraltısuyu akım hareketinin ve akım hareketine bağlı olarak sistemdeki kütle taşınım hareketinde etkin olan süreçlerin, yüzey ve yeraltısuyu kaynakları arasındaki hidrodinamik ilişkinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bununla beraber model sonuçlarının değerlendirilmesi ile bölge genelindeki yeraltısuyunun işletilmesi sürecinde sürdürülebilir uygun bir yöntem şeklinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan akifer sistemindeki yeraltısuyu ve taşınım süreçlerinin modellenmesinde MODFLOW–2000 (Harbaugh et al, 2000) ve MT3D-MS (Zheng, 2006) programları kullanılmıştır. Akım ve taşınım modeline ait verilerin girişi ve sonuçların değerlendirilmesinde Argus Interware, Inc. (1997) tarafından geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı Argus-ONE (Argus-Open Numerical Environments) programından faydalanılmıştır.

4.1. MODFLOW

Bu çalışmada, yeraltısuyu akım denklemini çözmek için, USGS (United States Geological Survey) tarafından geliştirilen yeraltısuyu akım hareketini üç boyutlu benzeştiren bir bilgisayar programı olan modüler sonlu farklar akım modeli MODFLOW–2000 (MODular Three-dimensional finite-difference groundwater FLOW model-2000) (Harbaugh et al, 2000) kullanılmıştır.

MODFLOW, doymuş akım koşullarında, Darcy yasasının geçerli olduğu, yeraltısuyu yoğunluğunun sabit olduğu ve hidrolik iletkenlik ve transmisivitenin zamanla değişmediği durumlar için, yeraltısuyu akımını benzeştirmek üzere geliştirilmiş bir programdır. MODFLOW, akifer sistemindeki yeraltısuyu akım denklemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Çözüm, akifer sistemindeki her bir hücre için değişik zaman adımlarındaki hidrolik yük değerlerini (yeraltısuyu seviyesi) vermektedir (McDonald and Harbaugh, 1988):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.1)$$

Burada:

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : hidrolik iletkenlik katsayısının x, y, z koordinat eksenlerindeki bileşenleri ($L T^{-1}$)

h : hidrolik yük (L)

W : hacimsel su katkısı/kaybı (T^{-1}) ($W > 0$, yeraltısuyu akım sistemine su katkısı (beslenme) ve $W < 0$ sistemden su kaybı (boşalım))

S_s : gözenekli malzemenin özgül depolama katsayısı (L^{-1})

t : zamanı (T) ifade etmektedir.

MODFLOW, yeraltısuyu akım denklemini çözmek için sonlu farklar yaklaşımını kullanmaktadır. Sonlu farklar yaklaşımının üç boyutlu problemlere uygulanabilirliğinin basit ve kolay olması bu yaklaşımın yeraltısuyu modellemesinde çok geniş alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. MODFLOW Eş. 4.1.'i her bir hücre için sonlu farklar metodunu kullanarak aşağıdaki "Eş. 4.2." tanımlandığı gibi doğrusal denkleme dönüştürmektedir (McDonald and Harbaugh, 1988);

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + \varphi_{i,j,k} = S_s (\Delta R_j \cdot \Delta C_i \cdot \Delta V_{j,j,k}) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t^m - t^{m-1}} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Burada;

$h_{i,j,k}$: i,j,k hücrelerindeki m zaman adımındaki yük değeri (L)

CR, CC, CV : i,j,k düğüm noktaları ve komşu düğüm noktaları arasındaki hidrolik iletkenlik ($L^2 T^{-1}$)

$P_{i,j,k}$: katkı/kayıplardaki hidrolik yük katsayılarının toplamı ($L^2 T^{-1}$)

$\varphi_{i,j,k}$: katkı/kayıplardaki katsayıların toplamı ($L^3 T^{-1}$)

S_s : özgül depolama (L^{-1})

ΔR_i : tüm satırlardaki j kolonunun hücre genişliği (L)

ΔC_i : tüm kolonlardaki i satırının hücre genişliği (L)

$\Delta V_{i,j,k}$: i,,j,k,hücresinin düşey kalınlığı (L)

t^m : m adımındaki zamanı (T) ifade etmektedir.

Sonlu farklar modelleri hücre merkezli (block-centered) ya da ağ merkezli (mesh-centered) olarak tanımlanmaktadır. MODFLOW hücre merkezli sonlu farklar gridlerini kullanmaktadır. Burada model alanı her bir düğüm noktasını çevreleyen hücre veya bloklara bölünmüştür. Bu hücreler birbirlerinden grid çizgileri ile ayrılmaktadır. Hidrolik özellikler her bir hücre için belirlenmekte ve hücre içerisinde değişmediği kabul edilmektedir.

MODFLOW-2000 sürümünün önceki MODFLOW sürümlerden farklı olarak yeraltısuyu taşınım sürecini ve Hill (1992) tarafından MODFLOWP (Parameter Estimation Version of the Modular Model) olarak geliştirilmiş evrik parametre tahmin modelini de bünyesinde toplamıştır. Bu sayede MODFLOW-2000 ile hem doğrudan hem de evrik akım modellemesi yapılabilmektedir.

MODFLOW-2000 programı, global (GLO), yeraltısuyu akım (GWF), gözlem (OBS), hassasiyet (SEN) ve parametre kestirimi (PES) olmak üzere beş farklı ana modülden oluşmaktadır. Bu modüllerden ilk ikisi inceleme alanına ait kavramsal modelde gerçekleşen fiziksel ve/veya kimyasal süreçleri tanımlanmada, diğer üç modül ise parametre kalibrasyon aşamasında kullanılmaktadır. GLO modülü inceleme alanını oluşturan fiziksel sistemi tanımlamada kullanılan alt programlardan meydana gelmektedir. Bu alt programlarda yer alan girdi dosyaları model alanına ait grid geometrisi, model katmanları ve zaman adımları gibi aşamaları içermektedir. GWF modülü ile ilgili alt programlarda yeraltısuyu akım sisteminin ve gözenekli ortamın özelliklerini ifade eden veriler tanımlanmaktadır. OBS modülünde model sonucunda kestirilen bağımlı değişkenler ile arazide gözlenen bağımlı değişkenlerin almış oldukları değerler karşılaştırılır. SEN modülünde ise model alanında bağımlı değişkenin değişim sürecinde, bağımsız değişkenlerin etkileri belirlenmektedir. PES modülünde ise model sonucunda hesaplanan ve gözlenen bağımlı değişkenler arasındaki farkların karelerinin minimizasyonu ile parametre kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir.

4.2. MODFLOW-GUI

MODFLOW-GUI (Preprocessor and postprocessor graphical-user interfaces for preparing MODFLOW and MOC3D input data and viewing model output for use within Argus Open Numerical Environments (Argus ONE)), MODFLOW, MOC3D, MODPATH (Sanford and Konikow, 1985) modelleri için veri dosyalarını hazırlamak ve model sonuçlarını değerlendirmek üzere USGS tarafından geliştirilen, Argus-ONE CBS programı altında çalışan bir grafik arayüz programıdır. Programla ilgili detaylı bilgiler Shapiro et al. (1997); Hornberger and Konikow (1998); Winston (1999) ve Winston (2000) tarafından verilmiştir.

USGS tüm model çalışmalarında Argus-ONE CBS programını ön-ardıl işlemci olarak kullanmakta ve bir çok model programı (HST3D (Kipp, 1986), SUTRA, vb.) için ara-yüz program geliştirmektedir. Argus-ONE diğer CBS programlarından farklı olarak kendi içerisinde sonlu farklar ve sonlu elemanlar yaklaşımları için gerekli çok sayıda sayısal fonksiyona ve ağ üretme yeteneğine sahiptir. Argus-ONE içerisinde CBS katmanları şeklinde nokta çizgi ve poligon olarak girilen model verileri yaratılan ağ sistemi içerisinde her bir model elemanı (hücre) için ara kestirim yolu ile hesaplanabilmektedir. Argus-ONE bünyesinde değişik jeoistatistiksel ara kestirim yöntemleri bulunmaktadır. Ayrıca USGS tarafından geliştirilmiş ve MODFLOW bünyesinde anizotropiyi de göz önüne alan jeoistatistiksel ve en-yakın komşuluk ara kestirim yöntemleri de MODFLOW-GUI ile eklenebilmektedir. Ağ sisteminde yapılacak değişiklikler model verilerinin yeniden girilmesini gerektirmemektedir. Argus-ONE içerisinde oluşturulan CBS katmanları istenilen model programının giriş formatına uygun dosyalara dönüştürülebilmektedir. Bu nedenle Argus-ONE her tür sayısal modelle kullanılabilen ve bu modeller için gerekli olan tüm şartları sağlayabilen bir programdır.

MODFLOW-GUI, Argus-ONE içerisinde oluşturulan CBS katmanlarını MODFLOW modelinin istediği veri formatına dönüştürmekte ve model programını çalıştırmaktadır. Aynı zamanda MODFLOW'un standart çıktı dosyalarındaki verileri okuyarak Argus-ONE içerisinde kontur, kesit, üç boyutlu görüntüler şeklinde sunabilmektedir

4.3. Grid Tasarımı ve Akifer Parametreleri

4.3.1. Sonlu farklar grid yapısı ve model katmanları

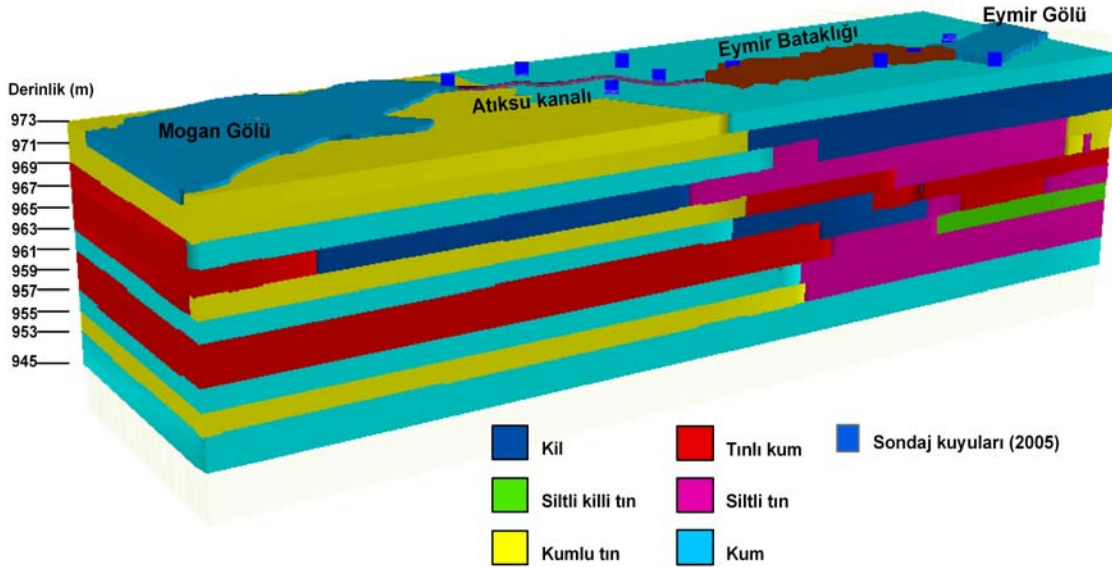
Yeraltısuyu (YAS) akım ve taşınım hareketinin gerçekleştiği hidrojeolojik sistem ile benzeştirilecek olan kavramsal modelde sonlu farklar gridlerinin ve model katmanlarının oluşturulması, grid ağları için gerekli parametrelerin tanımlanması, sınır ve başlangıç koşullarının uygulanması ve son olarak bu verilerin yeraltısuyu akım (MODFLOW) programına aktarılması aşamasında Argus-ONE programı kullanılmıştır.

İnceleme alanına ait YAS akım ve kütle taşınım modellerinin oluşturulması aşamasında arazide değişik lokasyonlarda yapılan örnekleme, ölçüm ve sondaj çalışmalarının sayısal ve deneysel analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Bu amaçla ilk önce inceleme alanı genelinde heterojen bir özellik gösteren hidrojeolojik yapı, tane boyu dağılımı göz önünde bulundurularak USDA sınıflamasına göre 6 ayrı hidrolik birim olarak tanımlanmış (Bkz. Şekil 3.3) ve her bir birim için bir kod değeri atanmıştır (Çizelge 4.1). Bundan sonra inceleme alanının 3 boyutlu yüzeyaltı stratigrafisini kestirebilmek ve bu stratigrafik yapı içerisinde heterojen bir dağılım gösteren birimleri kendi içerisinde homojen hale getirebilmek (sınırları kestirebilmek) amacı ile CBS tabanlı programlardan yararlanılmıştır. Bu amaçla Ağustos-2005 döneminde inceleme alanında değişik lokasyonlarda açılan sondaj kuyularına ait kuyu kütüklerinde tanımlanmış olan stratigrafik serilerden (Bkz. Şekil 3.4) yararlanılarak birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılım alanları indikatör kriging yöntemi kullanılarak kestirilmiştir. Böylece birimlerin 3 boyutlu blok diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. Hidrolik birimlere ait kod değerleri.

Birim	Kod No
Kil	1
Siltli Killi Tın	2
Kumlu Tın	3
Tınlı Kum	4
Siltli Tın	5
Kum	6

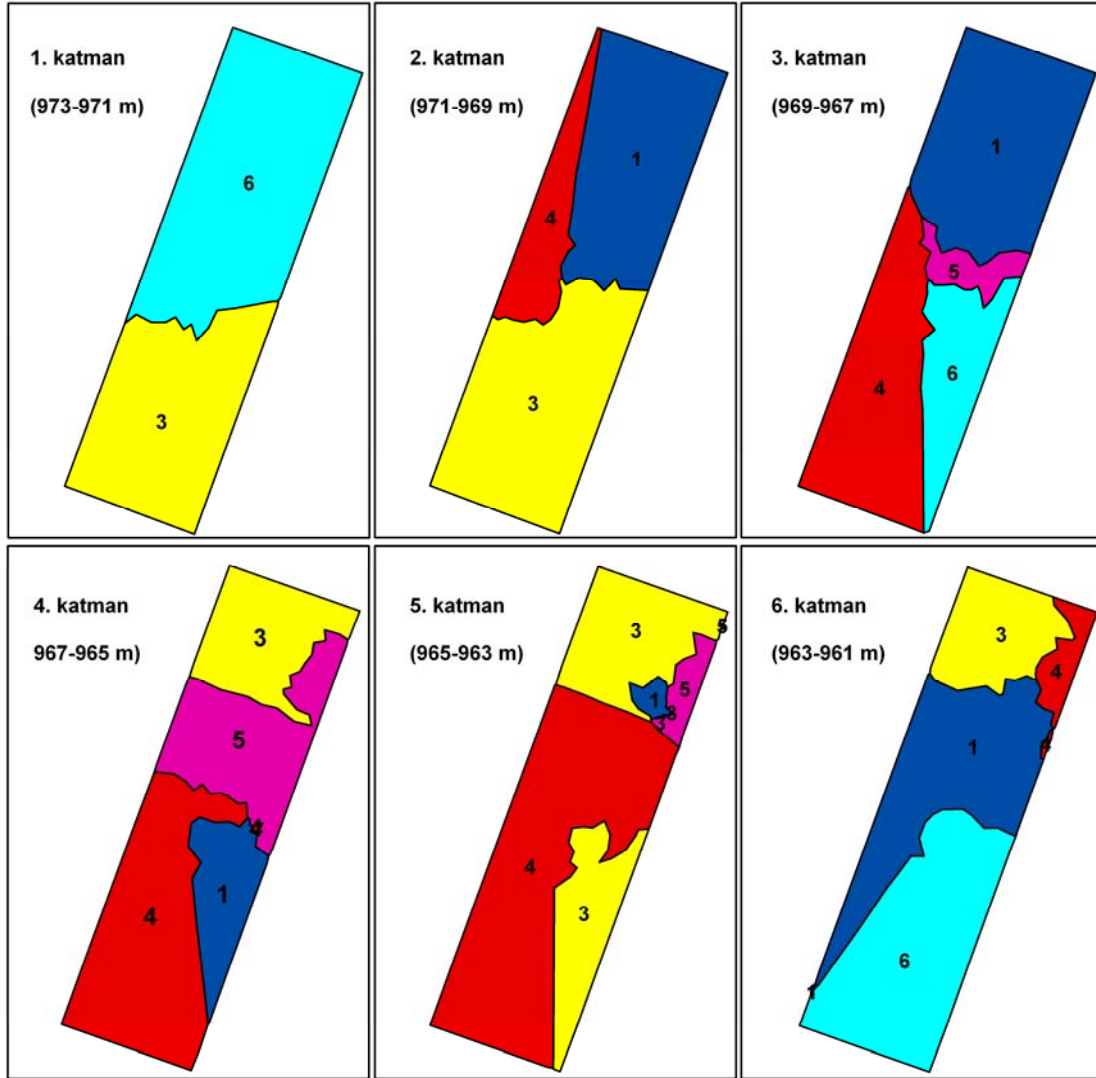
İki göl arasında yeraltısuyu akım hareketinin meydana geldiği hidrojeolojik sistemde birimlerin heterojen bir dağılım göstermesinden dolayı sistem içerisinde gerçekleşen akımın düşey bileşeni de olacağı göz önünde bulundurularak model alanı 11 katmana bölünmüştür. En alttaki katmanın kalınlığı 8 m, orta katmanların kalınlığı ise 2 m olarak belirlenmiştir. En üstteki katmanın kalınlığı ise topoğrafyaya bağlı olarak değişim göstermektedir (Şekil 4.2). Daha sonra model alanında her bir katmanı oluşturan hidrojeolojik birimler jeohidrolojik özellikleri göz önünde bulundurularak 6 farklı zon bölgesine ayrılmış (Şekil 4.3) ve her bir zon kendi içerisinde homojen hidrolik parametreler ile temsil edilmiştir (Çizelge 4.2). Buna göre 1. model katmanı kumlu tın ve kum; 2. model katmanı kil, kumlu tın ve tınlı kum; 3. model katmanı tınlı kum, siltli tın, kum ve kil; 4 model katmanı kumlu tın, tınlı kum, siltli tın ve kil; 5. model katmanı siltli tın, tınlı kum, kumlu tın ve kil; 6.model katmanı, kum, tınlı kum, kumlu tın ve kil; 7, model katmanı siltli tın, tınlı kum ve kil; 8. model katmanı siltli tın, tınlı kum ve siltli killi tın; 9. model katmanı siltli tın ve kum; 10. model katmanı siltli tın ve kumlu tın ve 11. model katmanı ise kum biriminden oluşmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda YAS akım ve kütle taşınım hareketinin gerçekleştiği hidrojeolojik sistemde birimlerin hidrolojik, fiziksel ve litolojik özellikleri içeren 3 boyutlu hidrojeolojik yapıya ait iskelet oluşturulmuştur.



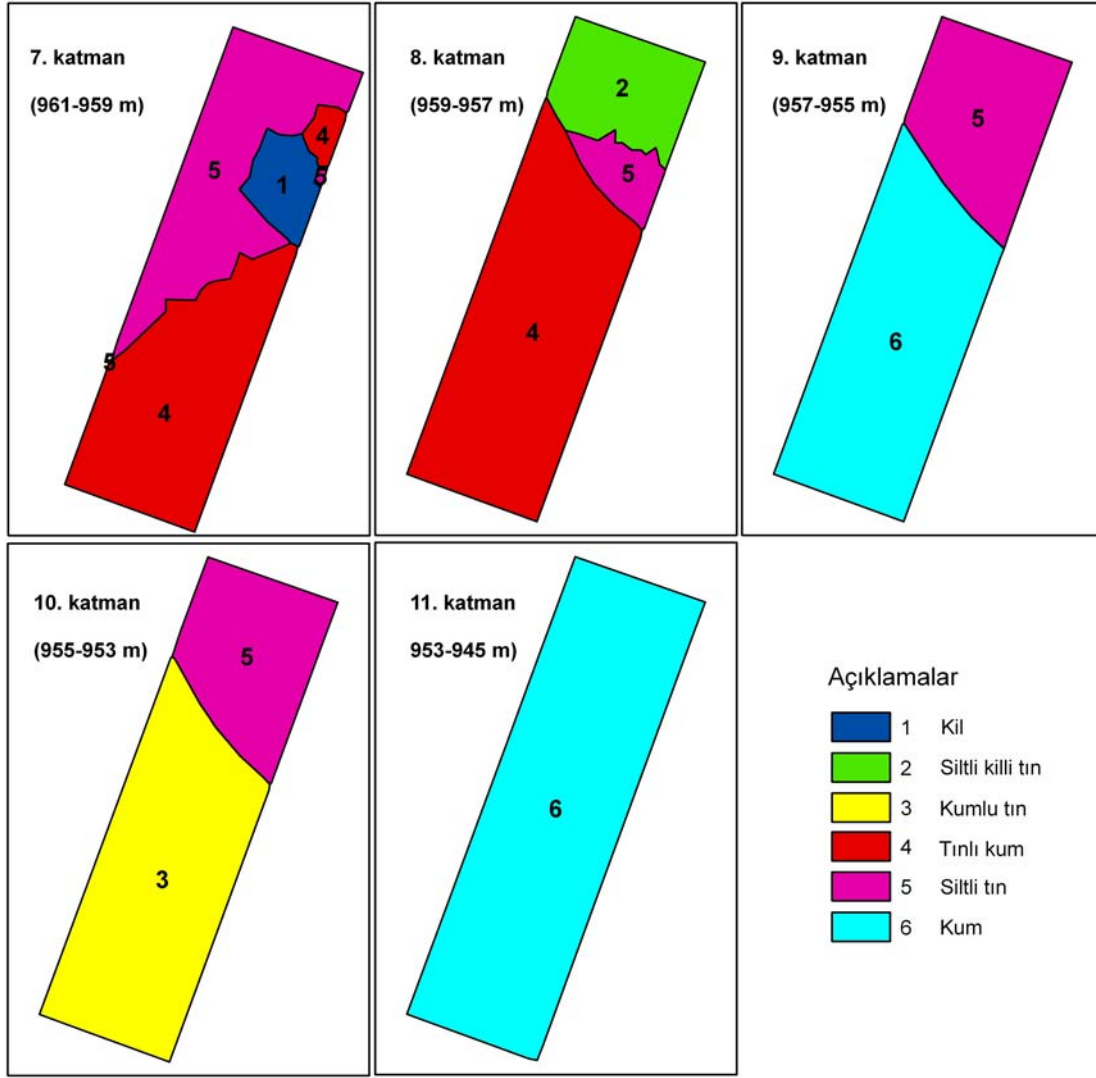
Şekil 4.2. İnceleme alanında yer alan model katmanların 3 boyutlu görünümü.

Sonra aşamada ise model alanı, grid eksenleri hakim yeraltısuyu akım yönü (kuzeydoğu-güneybatı yönünde) ile çıkışacak şekilde sonlu-farklar gridlerine

bölünmüştür. Yaklaşık olarak 7.86 km² bir alan kaplayan model alanında her bir katman için oluşturulan grid ağı 60 kolon ve 210 satır olmak üzere toplam 12600 adet hücreden oluşmuştur. Her bir hücre sabit, homojen 25 m × 25 m 'lik bir alanı temsil etmektedir (Şekil 4.4). Model katmanlarında hücre büyüklüğü ve uniform hücre boyutunun belirlenmesinde aşamasında hücre içinde gerçekleşen etki-tepki süreçlerinin bölgesel ölçekteki değişimi yansıtabilecek özellikte olmasına dikkat edilmiştir.



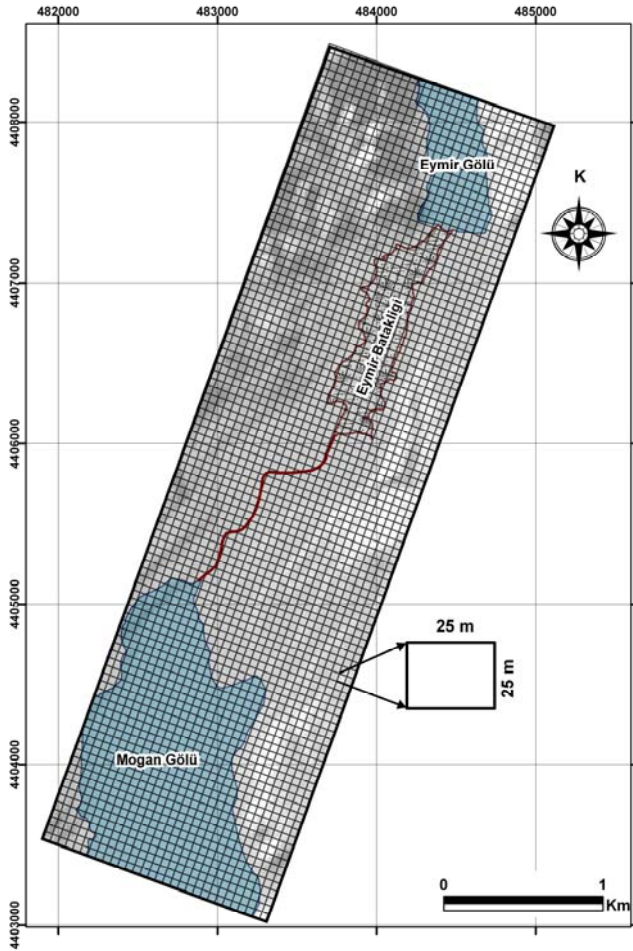
Şekil 4.3. Model katmanlarında yer alan hidrolik birimlerin parametre zonları.



Şekil 4.3. devam ediyor.

Çizelge 4.2. Zon bölgelerinin hidrolik parametre değerleri.

Hidrolik birim	G_s (boyutsuz)	ρ_B (gr/cm ³)	n (%)	Sy (%)	Ss m ⁻¹	K_x (m/gün)	K_z (m/gün)
Kil	2.526	1.547	38.758	2.476	8.514×10^{-7}	7.783×10^{-5}	1.556×10^{-5}
Siltli killi tın	2.379	1.529	35.406	3.113	1.140×10^{-5}	4.274×10^{-3}	8.548×10^{-4}
Kumlu tın	2.586	1.737	32.790	5.117	7.419×10^{-4}	3.304×10^{-3}	6.608×10^{-4}
Tınlı kum	2.577	1.786	30.782	9.428	4.577×10^{-4}	1.666×10^{-3}	3.332×10^{-3}
Siltli tın	2.544	1.665	34.485	3.657	8.078×10^{-4}	7.973×10^{-4}	1.595×10^{-4}
Kum	2.617	1.836	29.847	13.403	3.753×10^{-2}	5.084×10^{-3}	1.017×10^{-3}



Şekil 4.4. Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan çalışma alanı için oluşturulan sonlu farklar gridleri.

4.3.2. Hidrolik parametrelerin dağılımı

İki göl arasında yer alan hidrojeolojik sistemde sistemi oluşturan birimlere ait hidrolik parametreler (K_x ve S_s) arazide açılmış sondaj kuyularına ait karot örneklerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Model katmanlarında yer alan her bir birim için yatay hidrolik iletkenlik katsayı laboratuvar koşullarında yapılan düşen seviyeli permeametre deneyler sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Bununla beraber inceleme alanında düşey yöndeki hidrolik iletkenlik katsayısını belirlemeye dönük her hangi bir çalışma yapılmadığından bu parametre ile ilgili hiçbir veri bulunmamaktadır. Bundan dolayı hidrojeolojik birimlere ait düşey yöndeki hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesi aşamasında konuyla ilgili önceden yapılmış olan araştırma sonuçlarından

yararlanılmıştır. Anderson and Woessner (1991) ve Spitz and Moreno (1996) yaptıkları literatür taramasında düşey yöndeki hidrolik iletkenlik katsayısının yatay yöndeki hidrolik iletkenlik katsayısına oranının 1/1-1/10 arasında değiştiğini, ancak bazı model çalışmalarında bu oranın 1/1000'e kadar çıktığını belirtmişlerdir (Atilla, 2002). Bu çalışmada bu oran 1/5 olarak alınmıştır. Özgül verim değerleri ise laboratuvar koşullarında santrifüj ile yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir.

4.3.3. Başlangıç Koşulları ve Model Süresi

İnceleme alanı genelinde basınçlı bir özellik gösteren hidrojeolojik sistem, MODFLOW programında “serbest-basınçlı geçişli akifer (convertible)” olarak modellenmiştir. Herbir hücrede hidrolik yük değeri hücre üst kotundan daha yüksek bir değere sahip olduğunda basınçlı akifer koşulları, daha düşük olduğunda ise serbest akifer koşulları geçerli olmaktadır.

İnceleme alanında özel ve kamu kuruluşları tarafından 1994-2006 yılları arasında hidrojeolojik sistemi tanımlamak, yüzey ve yeraltısuyu kaynakları arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemek amacı ile sondaj kuyuları açılmıştır. Bu kuyularda Ekim-1994 yılından başlayarak kamu kuruluşları tarafından değişik dönemlerde YAS ölçümleri yapılmıştır. Bundan dolayı model alanında ilksel hidrolik yük dağılımının ($t=0$) belirlenmesinde Ekim-1994 yılına ait ölçümler kullanılmıştır.

İnceleme alanında yer alan kuyularda gözlemlenen YAS değerlerinin zamana bağlı olarak değişim göstermesinden dolayı hidrojeolojik sistem içerisindeki yeraltısuyu akımı dengesiz akım koşullarında meydana geldiği belirlenmiştir. Bundan dolayı yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarında Eylül-1999 ile Mart-2006 yılları arasında aylık olarak ölçülen su seviye değerleri (Bkz. Ek-1) göz önünde bulundurularak 75 periyot belirlenmiştir. Her bir periyot birer aylık dönemden oluşmaktadır.

İnceleme alanında yüzeyde mostra veren birimlerin geçirgenlik özelliklerinin çok düşük olmasından dolayı yağıştan veya bataklık alanından yeraltısuyuna süzülme şeklinde meydana gelen beslenme ihmal edilmiştir.

4.3.4. Sınır Koşulları

İki göl arasında yer alan hidrojeolojik yapı, yeraltısuyu hareketinin doygun akım koşullarında meydana geldiği; pekişmemiş, heterojen killi, siltli ve kumlu birimlerin hakim olduğu Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelden oluşan 3 boyutlu bir kütledir (Bkz. Şekil 4.2). Mogan ve Eymir gölleri arasında yer alan bu kütle içerisindeki yeraltısuyu güneybatı sınırını oluşturan Mogan Gölü'nden beslenmekte ve kuzeydoğu sınırında yer alan Eymir Gölü'ne boşalmaktadır. Modellemede kuzeydoğu ve güneybatı sınırını oluşturan Mogan ve Eymir gölleri yüzeysel su kaynakları olduklarından atmosferik koşullardan hızlı bir şekilde etkilenmektedir. Bu koşulların etkisi, Mogan Göl yüzey alanının Eymir Gölü'ne göre çok daha büyük olmasından dolayı (yaklaşık 6 katı) Mogan Gölü'nde daha fazla gözlenmektedir. Göllerdeki su seviyesi atmosferik koşullara bağlı olarak yıl içerisinde değişik değerler göstermesinden dolayı göller zaman içerisinde sabit kalmayıp değişken seviyeli bir özellik göstermektedir. Bundan dolayı göller model alanında 3.tip (Cauchy) değişken yük veya akım sınır koşulu olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.5). İnceleme alanında göller ile yeraltısuyu arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemede (gölden yeraltısuyuna veya yeraltısuyundan göle olan beslenme) GHB paketi kullanılmıştır.

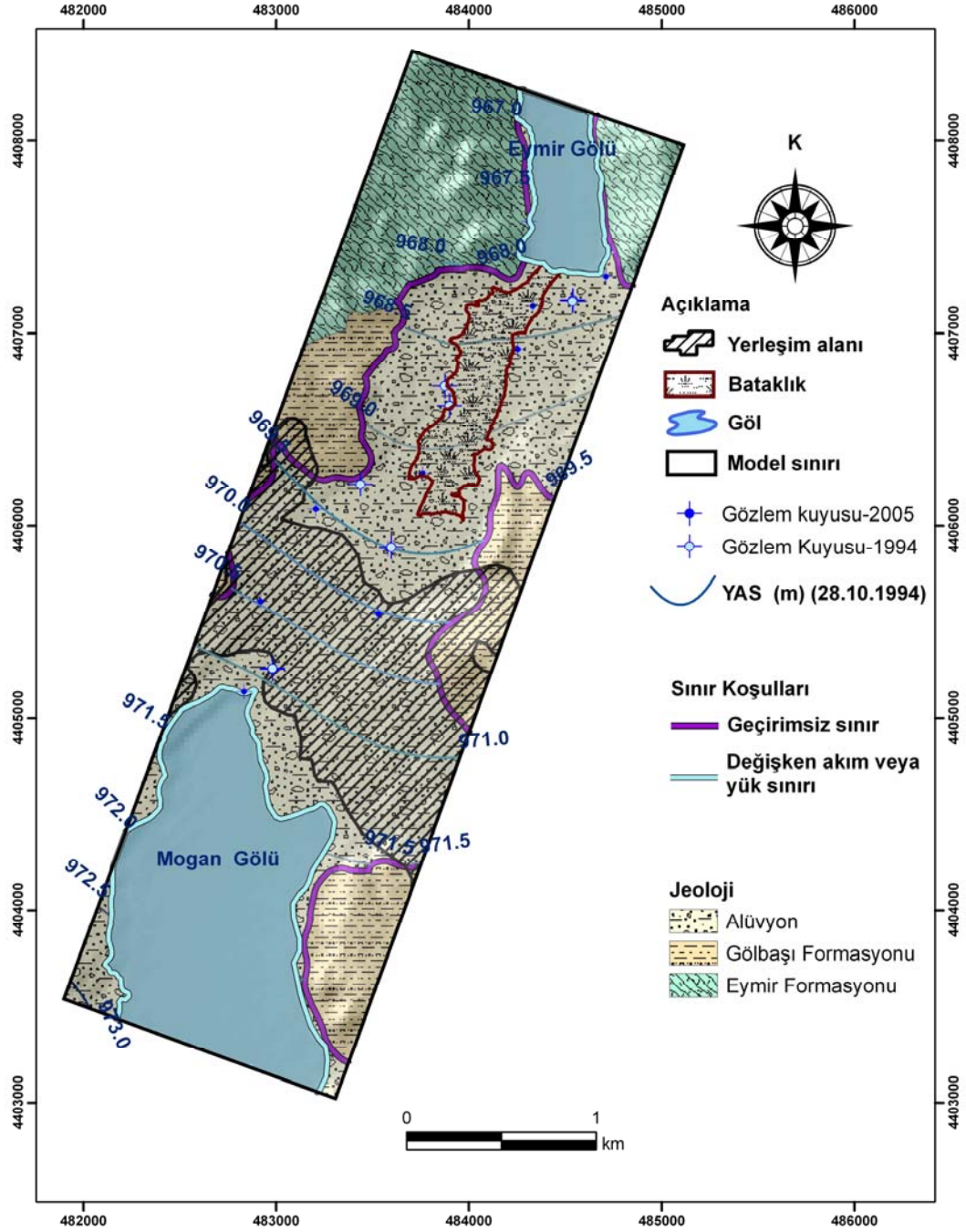
Model alanının kuzeybatı ve güneybatı sınırında yer alan Pliyosen yaşlı Gölbaşı ve Triyas yaşlı Eymir formasyonları genelde geçirimsizliği düşük birimlerden oluşmaktadır. Bundan dolayı bu birimlerin model alanı ile temas halinde bulunduğu yan ve düşey yönlerde hidrojeolojik sisteme herhangi bir yeraltısuyu hareketi yani beslenme olmamaktadır. Bundan dolayı da bu birimler inceleme alanı genelinde geçirimsiz sınır koşulunu oluşturmaktadır (Şekil 4.5.)

Model alanının tabanı Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonuna ait marn birimleri tarafından sınırlandırılmıştır. Bu birimlerden herhangi bir beslenme olmadığından modelde sabit bir yük sınırı (Dirichlet sınır koşulu) oluşturmaktadır.

4.3.5. Model Kalibrasyonu

Hidrojeolojik yapıyı oluşturan birimlere ait hidrolik parametrelerin (K_x , K_z ve S_s) kestirilmesi aşamasında MODFLOW-2000 programı kullanılmıştır. Evrik modelleme yöntemi esasına dayanan bu program, model sonucunda hesaplanan ile gözlenen hidrolik yük ve/veya akım değerleri arasındaki farkın minimum bir

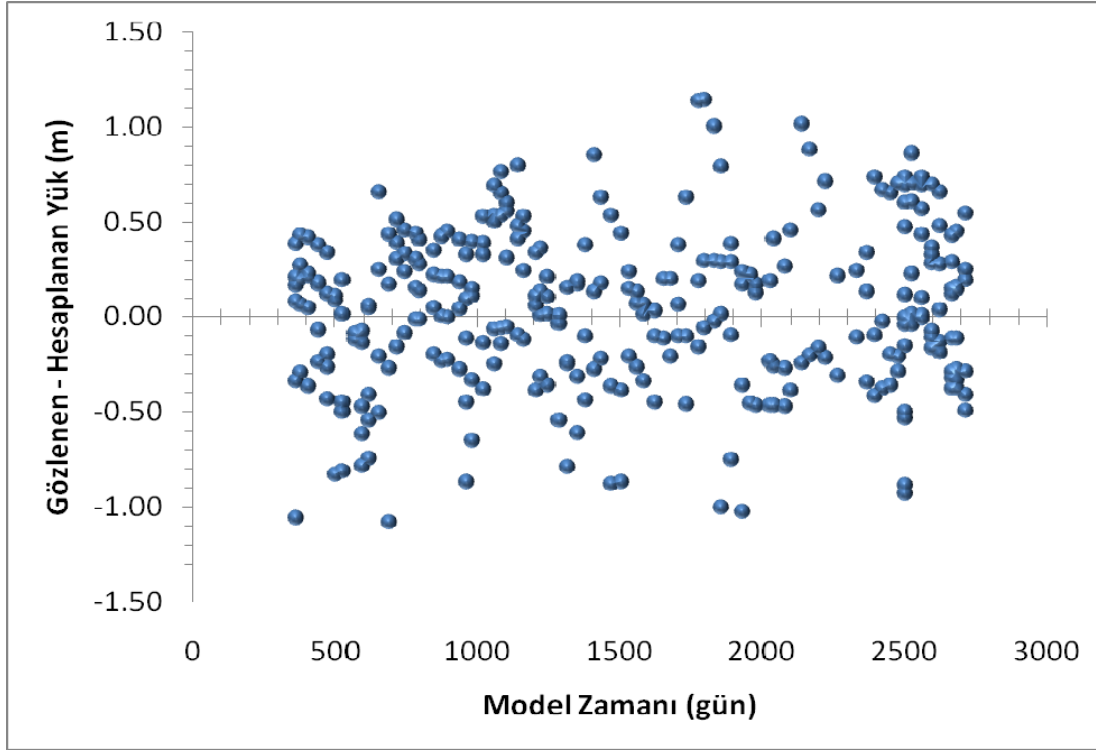
değere indirgenmesini sağlayan en uygun hidrolik parametre değerlerini kestirmektedir



Şekil 4.5. Mogan – Eymir Gölleri arasında kurulan modelin sınır koşulları

Bu çalışmada modelde sonuçlar iki göl arasında yer alan 17 adet gözlem kuyusunda (Bkz. Şekil 3.2) 1999-2005 yılları arasında aylık bazda gözlenen hidrolik yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon sonucu elde edilen

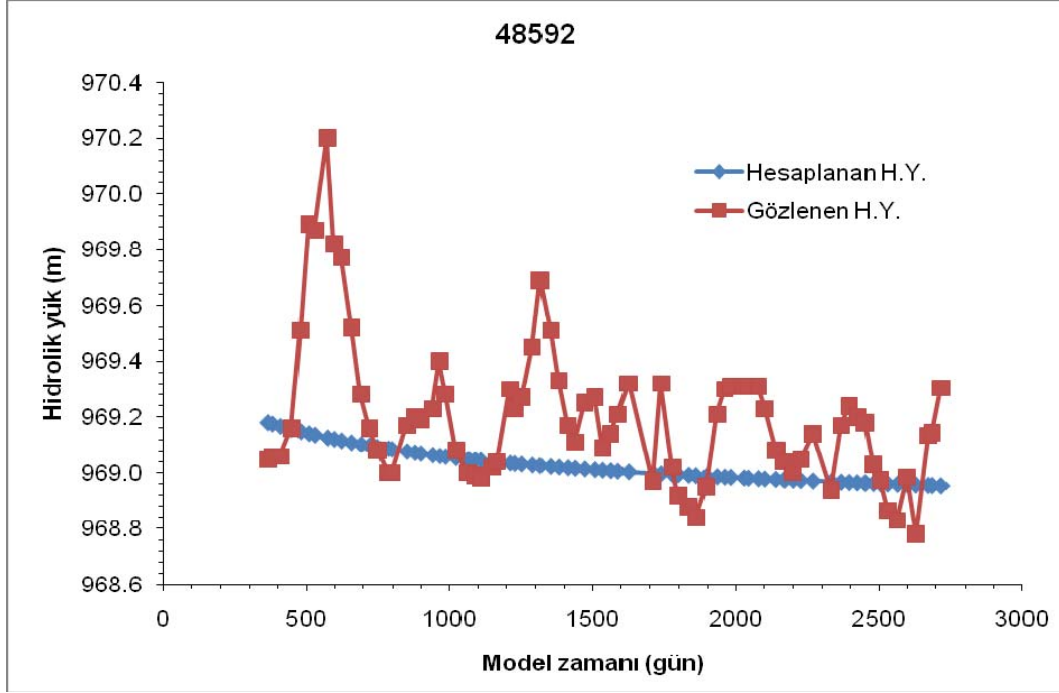
gözlenen ve hesaplanan yük değerlerinin farkı Şekil 4.6'da verilmiştir. Görüldüğü gibi gözlenen değerlere ± 1.1 m hata ile yaklaşılmıştır. Ortalama fark değeri -0.25 m, en büyük ve en küçük fark değerleri ise sırasıyla 1.1 m ve -1.08 m olarak elde edilmiştir. Farkların kareleri ortalaması ise 0.6 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. 25 m x 25 m'lik grid aralıkları için elde edilen kalibrasyon grafiği

Model, kuyularda gözlenen seviye değerlerine ortalama olarak yaklaşıırken, anlık seviye değişimlerine yaklaşılamamaktadır. Şekil 4.7 de inceleme alanında yer alan gözlem kuyularında model zamanı boyunca gözlenen ve model sonucunda hesaplanan yük değerleri verilmiştir. Mogan ve Eymir Gölünde meydana gelen seviye değişiklikleri yeraltısuyu sistemine sönümlenerek yansımaktadır. Benzer durum diğer tüm gözlem kuyularında ortaya çıkmaktadır.

Evrik parametre tahmin modelinde optimizasyon sonucunda her bir zon için %95 güven aralığı ile hesaplanan parametre değerleri Çizelge 4.3. de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 48591 nolu kuyuda hesaplanan ve gözlenen yüklerin dağılımı

Çizelge 4.3. Optimizasyon sonucunda zon bölgeleri için kestirilen hidrolik parametre değerleri.

Hidrolik birim	K_x (m/g)	S_s (m^{-1})	S_y (boyutsuz)	İletimlilik ($m^2/gün$)
Kil	0.0078	8.5×10^{-7}	0.02	-
Siltli killi tın	0.420	0.00012	0.03	-
Kumlu tın	1.300	7.4×10^{-5}	0.03	-
Tınlı kum	0.160	0.0045	0.05	-
Siltli tın	0.240	0.00081	0.09	-
Kum	0.950	0.0037	0.05	-
Mogan Gölü (GHBM)	-	-	-	0.1
Eymir Gölü (GHBE)	-	-	-	0.25

4.3.6. Duraylılık Analizi

Duraylılık (hassasiyet) analizleri, herhangi bir sistemde bağımlı değişkenlerde meydana gelen değişim sürecinde bağımsız değişkenler olarak tanımlanan

parametrelerin etkisini gösteren analizlerdir (Hill et al., 2000). Yeraltısuyu akım sistemlerinde bağımsız değişkenler hidrolik iletkenlik (K), depolama (S) katsayıları, bağımlı değişkenler ise hidrolik yük parametreleridir. Yeraltısuyu akım problemlerinde hassasiyet katsayısı, evrik problemlerin çözümünde önemli rol oynayan düşünüm ya da hidrolik yük değerlerinin her bir model parametresine göre kısmi türevi olarak tanımlanır (McElwee et al., 1978, 1982) ve modelde duraylılık katsayısı (ss_{ij}) aşağıda tanımlanan eşitlik ile hesaplanmaktadır (Hill, 1998).

$$ss_{ij} = \left(\frac{\partial y_i'}{\partial b_j} \right) \times b_j \omega_{ii}^{1/2} \quad (4.1.)$$

Burada;

i : gözlemlenen bağımlı değişken

J : kestirilen parametre

y_i' : i. gözleme bağlı olarak benzeştirilen parametre

b_j : j. kestirilen parametre

$\frac{\partial y_i'}{\partial b_j}$: j inci parametreye bağlı olarak i inci gözlemlenen bağımlı değişken için kestirilen duraylılık değeri

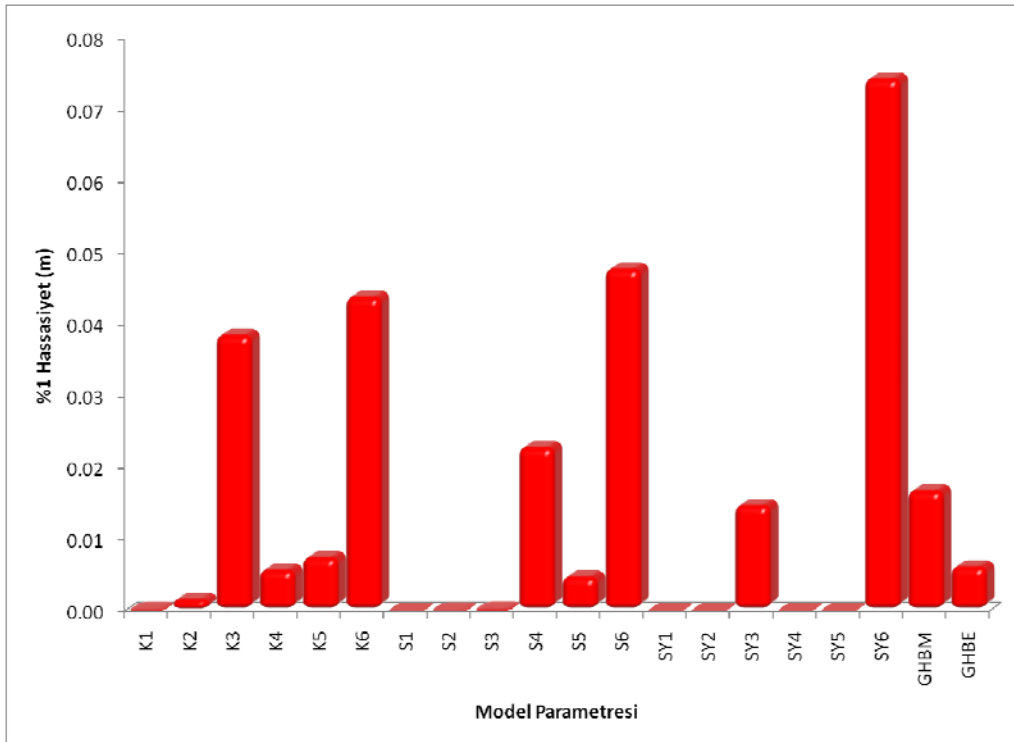
ω : i inci gözlemlenen değişkenlerin ağırlık değerlerini ifade eder.

Bu katsayı, akiferin hidrolik parametrelerini hesaplamak ve hesaplamalarda meydana gelen çeşitli hataların kaynağını belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda, akifer parametrelerinin kalibrasyonu sırasında hidrolik yük değerlerinde nasıl bir değişikliğin meydana geldiğini de gösterir. Model alanında düşük duraylılık bölgeleri genellikle hidrolik yükün konuma ($\frac{\partial h}{\partial x}$) ve zamana ($\frac{\partial h}{\partial t}$) göre değişim değerlerinin küçük olması ile ilgilidir. Bu durum, duraylılık katsayısının zamana ve konuma bağlı olarak değişim gösterdiği anlamına gelmektedir.

Hidrojeojik sistemlerde model kalibre edildikten sonra, model girdilerinin kalibrasyon derecesi üzerindeki etkisini tanımlamak ve model analizinin sonuçlarını yorumlayabilmek amacı ile duraylılık analizleri yapılmıştır. Duraylılık analizi sonucunda modelde bağımlı değişken olarak tanımlanan hidrolik yük değerlerinin bağımsız değişken olarak tanımlanan belirli bir akifer parametresine

göre çok hassas ise bu parametredeki değişim model sonuçlarını önemli ölçüde etkileyeceği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda model sonuçları parametreye göre hassas değilse bu parametredeki değişim, modelin tahmin kapasitesi üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmayacaktır.

İki göl arasında yer alan hidrojeolojik sistem için yeraltısuyu akım modeli kalibrasyonu yapıldıktan sonra her bir zon için tanımlanan hidrolik parametre değerleri (K1, K2, K3, K4, K5, K6, ve S1, S2, S3, S4, S5, S6, SY1, SY2, SY3, SY4, SY5, SY6, GHBM, GHBE) kullanılarak MODFLOW-2000 model programı altında duraylılık analizi yapılmıştır. Yapılan bu analiz sonucu için hesaplanan maksimum duraylılık katsayısı değerleri Şekil 4.8' de yer almaktadır.



Şekil 4.8. Yeraltısuyu akım model parametreleri duraylılık katsayıları

Model ile hesaplanan yük değerlerinin duraylılık katsayısı en büyük olan kum biriminin hidrolik iletkenlik (K6) ve depolama özellikleri (SY6, S6), kumlu tın biriminin hidrolik iletkenlik (K3) ve özgül verim (SY3) ile siltli tın (S4) biriminin depolama katsayısı değerlerine bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Bu birimlerden kum ve kumlu tın birimleri, Mogan Gölünün akifer ile temasta olduğu en üst katmanda yer almaktadır. Daha derin kotlarda bulunan birimler ile düşük

geçirimliliğe sahip birimlerin model sonuçları üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Akifere göllerden su hareketini kontrol eden iletimlilik değerlerinin duraylılık katsayıları da akiferin daha geçirimli kısımlarının duraylılık katsayılarından daha düşüktür. Bununla beraber model sonucunda hesaplanan yük değerlerinin değişim sürecinde GHB paketi kullanılarak hesaplanan göllere ait iletimlilik parametresine de (GHBM, GHBE) hassas olduğu gözlenmiştir.

5. TAŞINIM MODELİ

5.1. Teori

Homojen, doymuş ve dengeli akım koşullarının geçerli olduğu kabul edilen yeraltısuyu akım sistemlerinde meydana gelen hidrodinamik dispersiyon, advektif taşınım, tutulma ve birinci dereceden bozunma süreçlerini tanımlayan tek boyutlu advektif-dispersif kısmi diferansiyel kütle taşınım denklemi (Lapidus and Amudson, 1952; Ogata and Banks, 1961) “Eş. 5.1” ile tanımlanmıştır.

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} + \frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial S(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} - kC(x,t) \quad (5.1)$$

Burada:

ρ_b :kuru birim ağırlığı, (ML⁻³),

θ :gözeneklilik (boyutsuz),

D :hidrodinamik dispersiyon katsayısı (L²T⁻¹) veya
difüzyon katsayısı (L²T⁻¹),

$C_{(x,t)}$:kimyasal maddenin akım alanındaki x konumunda ve t anındaki
değişim miktarı (ML⁻³),

$S_{(x,t)}$:katı taneler tarafından tutulan çözelti miktarı (MM⁻¹),

V_x :gözenek suyu veya ortalama yeraltısuyu akım hızı (LT⁻¹),

k :bozunma sabitini (T⁻¹) ifade etmektedir.

Yukarıda tanımlanan “Eş. 5.1”te sağ tarafındaki ilk terim akım alanında etkin olan hidrodinamik dispersiyon sürecine bağlı olarak derişimde meydana gelen değişimi, ikinci terim ortalama yeraltısuyu akım hızında taşınan kütle miktarını, üçünü terim ise birim zamanda kütle miktarında meydana gelen bozunma sürecini tanımlamaktadır. Eşitliğin sol tarafında yer alan ikinci terim ise kimyasal çözelti ile katı matriks arasında oluşan tutulma tepkimlerine bağlı olarak kütle miktarında meydana gelen değişim sürecini göstermektedir.

5.2. Toprak ve Sedimanlarda Tutulma Süreçleri

Hidrojeolojik sistemlerde kirlenmeye neden olan kimyasal maddeler, katı faz-çözünmüş madde-sıvı faz arasında meydana gelen etki-tepki süreçlerine bağlı olarak katı ortamı (kayaç, sediman vb.) oluşturan minerallerin yüzeylerinde bulunan elektrostatik veya kimyasal kuvvetler ile tepkimeye girerek yeraltısuyundan uzaklaşırlar. Tutulma (sorpsiyon) olarak tanımlanan bu süreç, yeraltısuyu akım alanında kirlетici hareketinin taşınım mekanizmasının belirlenmesinde, katı ortam-çözelti-sıvı faz arasında konuma ve zamana bağlı olarak gelişen değişim mekanizmasının kirlетici derişimi üzerindeki etkilerinin kestiriminde önemli bir aşamadır.

Toprak veya sedimanlarda tutulma hareketi genelde absorpsiyon, adsorpsiyon ve iyon değişimi olmak üzere üç farklı süreç şeklinde meydana gelmektedir (Fetter,1993) (Şekil 5.1). Yüzeye tutulma olarak tanımlanan adsorpsiyon, katı ortam-kimyasal çözelti, kimyasal çözelti-sıvı faz arasındaki yüzey veya ara yüzey bölgelerinde meydana gelen etkileşim süreçleri sonucunda sıvı fazdaki kimyasal çözeltinin katı ortamı oluşturan mineraller tarafından tutunması sonucunda oluşmaktadır. Absorpsiyon ise sıvı fazdaki kimyasal çözeltilerin katı ortamı oluşturan minerallerin içlerine nüfuz etmesi şeklinde oluşan tutulma süreci olarak tanımlanmaktadır. Tutulma süreçleri aynı zamanda kimyasal tutulma ve iyon değişim süreçlerini de kapsamaktadır. İyon değişimi, katı matriksi oluşturan minerallerin yüzeyinde yer alan yüklerin eksi veya artı yüklü olmasına bağlı olarak sıvı fazdaki iyon ile katı fazdaki iyon arasındaki yer değiştirme sürecidir. Bu süreç katyon veya anyon değişimi şeklinde meydana gelmektedir (Fetter, 1980).

5.3. Tutulma İzoterm Modelleri

Yeraltısuyu akım sistemlerinde sabit sıcaklıkta, toprak ile çözelti arasında oluşan etkileşim süreçlerine bağlı olarak tutulma sürecinden etkilenen sıvı fazdaki kimyasal çözelti derişimi (C_i) ile katı matriksin kuru birim ağırlığı tarafından tutulan kimyasal çözelti miktarı (S_i) arasındaki ilişki “tutulma izoterm modeli” olarak tanımlanmaktadır.

Yüzey ve yeraltısuyu sistemlerinde tutulma süreçleri ortamda diğer bir değişle yerinde gerçekleşen fiziksel ve kimyasal koşullara bağlı olarak denge kontrollü veya kinetik tutulma izoterm modelleri şeklinde meydana gelmektedir. Denge

kontrollü tutulma izoterm modellerinde, katı matriks tarafından tutulma süreci ortamın hidrodinamik özelliklerine bağlı olarak advektif/dispersiyon kütle taşınım hareketinden daha hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Bu durumda katı matriks tarafından tutulan kirletici madde miktarı ile sıvı fazdaki kimyasal çözelti arasında yerel kimyasal denge koşullarının sağlandığı kabul edilmektedir. Kinetik tutulma modellerinde ise, gözenekli ortamlarda durağan ve hareketli bölgeler arasında meydana gelen kütle taşınım süreçlerinin gözenek suyu hızına göre çok daha yavaş bir şekilde gerçekleştiği ve katı matriks ile kimyasal çözelti arasında oluşan kimyasal veya fiziksel süreçler arasında denge koşullarının sağlanmadığı varsayılmaktadır. Bu tür ortamlarda katı faz ile çözelti arasında kinetik kimyasal koşullarının etkin olduğu kabul edilmektedir (van Genuchten et al., 1976; McGinley et al., 1996; Shukla et al., 1998).

5.3.1. Denge kontrollü tutulma izoterm modelleri ve gecikme faktörü

Yeraltısuyu akım sistemlerinde kimyasal maddelerin taşınımı sırasında bu maddelerin derişiminde sürekliliği kontrol eden tutulma izoterm modelleri sistemi oluşturan birimlerin jeohidrolojik özelliklerine (tane boyu dağılımı, gözeneklilik, kuru birim ağırlığı vb.) ve yeraltısuyu akımının hidrodinamik özelliklerine bağlı olarak zaman ve konum içerisinde değişim göstermektedir. Bu ilişkiyi gösteren en basit yaklaşımda yerel kimyasal denge koşullarında (YKD) katı tarafından tutulan kimyasal madde miktarı (S_i) ile sıvı fazdaki kimyasal çözelti derişimi (C_i) arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu kabul edilmektedir.

Herhangi bir sistem içerisinde YKD koşullarında meydana gelen tutulma terimini ($\frac{\partial S}{\partial t}$) tanımlamak için iki değişik izoterm modeli tanımlanmıştır. Bu modeller:

Doğrusal tutulma izoterm modeli (Linear sorption isotherm)

— Henry tutulma modeli

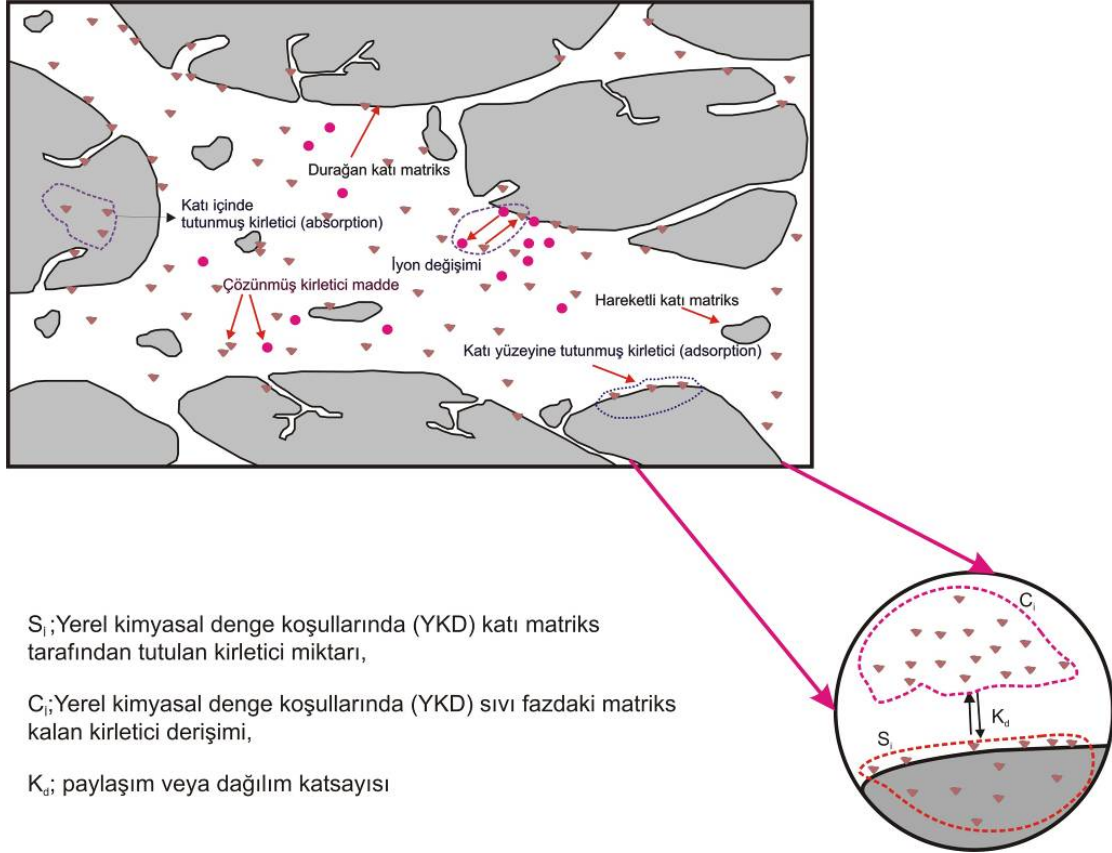
Doğrusal olmayan tutulma izoterm modeli (Nonlinear sorption isotherm)

—Freundlich tutulma modeli

—Langmuir tutulma modeli

Doğrusal tutulma izoterm modeli veya Henry izoterm modeli olarak bilinen bu süreçte katı faz tarafından tutulan kirletici miktarı (S_i (MM^{-1})) ile sıvı fazdaki kirletici derişimi (C_i (ML^{-3})) arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilir ve bu ilişki “Eş. 5.2” ile gösterilmektedir.

$$S_i(x, y, z, t) = K_d C_i(x, y, z, t) \quad (5.2)$$



Şekil 5.1. Akım yolu boyunca kirletici madde ile katı faz arasında meydana gelen kimyasal ve fiziksel süreçler.

Burada K_d , dağılım veya paylaşım katsayısı (L^3M^{-1}) olup, katı ortam tarafından çözeltinin tutulabilirlik miktarını belirlemede ve hidrojeolojik sistemlerde hidrojeolojik birim içerisinde geçen kimyasal veya organik kirleticilerin taşınım hareketini tanımlamada kullanılan bir parametredir.

Bu durumda gecikme faktörü R_f ise;

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \left(\frac{\partial S_i}{\partial C_i} \right) = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} K_d \quad (5.3)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır.

Doğrusal olmayan tutulma izoterm modelinde akifer sistemini oluşturan katı faz tarafından tutulan kirletici derişimi S_i ile sistemde kirlenmeye neden olan sıvı fazdaki kirletici derişimi C_i , arasındaki ilişki matematiksel olarak “Eş. 5.4” ile ifade edilmektedir.

$$S_i = K_d C_i^a \quad (5.4)$$

Burada, a katsayısı laboratuvar koşullarında yapılan deneyler sonucunda belirlenen ampirik bir parametredir. a değerinin 1 olması durumunda sistem içerisinde doğrusal tutulma izoterm süreci meydana gelmektedir.

Doğrusal olmayan tutulma izoterm modellerinden Langmuir izoterm modeli “Eş. 5.5” ile tanımlanmaktadır (Langmuir, 1918).

$$S_i = K_L S_{maks} \frac{C_i}{(1 + K_L C_i)} \quad (5.5)$$

Burada K_L , Langmuir sabiti (L^3M^{-1}) ve S_{maks} ise katı faz tarafından tutulan maksimum derişim miktarıdır (MM^{-1}). Gecikme faktörü R_f ise “Eş. 5.6” ile hesaplanır.

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \left(\frac{\partial S_i}{\partial C_i} \right) = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \left[\frac{K_L S_{maks}}{(1 + K_L C_i)^2} \right] \quad (5.6)$$

Diğer bir doğrusal olmayan denge koşullarının geçerli olduğu tutulma izotermi ise Freundlich tutulma izoterm modelidir ve “Eş. 5.7” ile ifade edilmektedir (Freundlich, 1926).

$$S_i = K_F C_i^a \quad (5.7)$$

Burada K_F , Freundlich sabiti (L^3M^{-1}) ve α ise Freundlich üstel faktörü (boyutsuz) olup genellikle birçok reaktif çözeltiler için birden küçük değer almaktadır.

Freundlich doğrusal olmayan tutulma izoterm modeli için gecikme faktörü R_f , ise:

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \left(\frac{\partial S_i}{\partial C_i} \right) = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} (a K_F C_i^{a-1}) \quad (5.8)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

5.3.2. Kinetik tutulma izoterm modelleri

Kütle taşınımında fiziksel dengesizlik veya kinetik tutulma durumu açıklayan hareketli-durağan (mobil-immobile) modeller literatüre Coats et al. (1964) ve daha sonra van Genuchten et al. (1976) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda girmiştir. Katı matriks ile kimyasal madde arasında yerel kimyasal denge koşullarının sağlanmadığı dengesiz veya kinetik tutulma izoterm modelleri, yeraltısuyununun hidrojeolojik sistemlerde hareketli ve hareketsiz olarak bulunduğu ortamlarda meydana gelen taşınım sürecini tanımlamada kullanılmaktadır (van Genuchten & Wierenga, 1976). Bu modeller tutulmanın oluştuğu hidrojeolojik birim içerisinde hareketli ve durağan bölgeler (ölü boşluklar) arasında kütle hareketinin yavaş bir şekilde meydana geldiği varsayımına dayanmaktadır (van Genuchten et al., 1976; McGinley et al., 1996; Shukla et al., 1998). Bu tür tutulma izoterm modellerinde durağan ve hareketli bölgeler arasında meydana gelen kütle hareketi birinci veya ikinci dereceden difüzyon taşınım modelleri ile tanımlanmaktadır. Dinamik yani hareketli bölgedeki katı matriks yalnız hareketli fazdaki çözelti ile hareketsiz bölgedeki katı matriks ise yalnız durağan fazdaki çözelti ile tepkimeye girebilmektedir.

YKD koşullarının geçersiz olduğu ortamlarda katı matriks tarafından tutulan çözelti miktarı ile sıvı fazdaki çözelti derişimi arasındaki ilişki birinci dereceden tersinir kinetik tepkimeler ile tanımlanmaktadır. Bu tepkimeler aşağıdaki “Eş. 5.9” ile ifade edilmektedir.

$$\rho_b \frac{\partial S_i}{\partial t} = \beta \left(C_i - \frac{S_i}{K_d} \right) \quad (5.9)$$

Burada,

β , sıvı fazdaki çözelti ile katı tarafından tutulan çözelti arasındaki birinci dereceden kütle transfer oranını (T^{-1}) ifade etmektedir.

Tersinir kinetik modellerde β katsayısı artıkça yani tutulma süreci daha hızlı bir şekilde meydana geldikçe gözenekli ortamda oluşan dengesiz tutulma süreçlerinin yerini denge kontrollü tutulma süreçleri gerçekleştirecektir. β katsayısının çok küçük değerler alması durumunda ise ortamda meydana gelen tutulma süreçleri ihmal edilebilmektedir.

İki bölge modelinde katı matriks tarafından tutulan çözelti miktarı maksimum olarak kabul edilmekte ve bu maksimum tutulma katı matriks üzerindeki toplam tutulma miktarını vermektedir (Selim et al., 1995). İki bölge modelinde kinetik tutulma süreçlerinin tanımlandığı tek boyutlu konvektif-dispersif taşınım denklemi “Eş. 5.10” ile ifade edilmektedir (Van Genuchten and Wieranga, 1976; Gaudet et al., 1977).

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + f \rho_b \frac{\partial S_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} + (1-f) \rho_b \frac{\partial S_{im}}{\partial t} = \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} - V_{(x)_m} \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial x} \quad (5.10)$$

Burada,

C_m ve C_{im} :akım alanında herhangi bir lokasyon ve zamanda hareketli ve

durağan fazlardaki çözelti derişimi (ML3),

S_m ve S_{im} :dinamik ve hareketsiz katı matriks tarafından tutulan çözelti

miktarları (MM-1),

θ_m :hareketli bölgenin gözenekliliği veya hacimsel su içeriği (LL-3)

θ_{im} :durağan bölgenin gözenekliliği veya hacimsel su içeriği (LL-3)

f :dinamik katı matriks yüzdesi veya hareketli su fazındaki çözeltinin

dinamik bölgedeki tutulmanın meydana geldiği alandır.

f parametresinin 0 olması durumunda kütle taşınım hareketinde tutulmanın olmadığı, sadece ortamda fiziksel dengesiz süreçlerin etkin olduğunu, 1 olması durumunda ise tutulmanın ve kimyasal dengesiz süreçlerin birlikte etkin olduğu anlamına gelmektedir.

Selim et al. (1988) kimyasal ve fiziksel dengesiz yaklaşımını birleştirerek ikinci dereceden kinetik yaklaşımını geliştirmiş ve bu yaklaşımı iki bölge modeli olarak tanımlamışlardır. İkinci dereceden iki bölge modelinde akifer sisteminde yeraltısuyu, hareketli ve durağan fazlar, katı matriks ise dinamik ve hareketsiz bölgeler olmak üzere iki alt bölgeye ayrılmıştır. Bu modelde, dinamik bölgedeki katı matriks hareketli fazdaki çözelti ile hareketsiz bölgedeki katı matriks ise durağan fazdaki çözelti ile tepkimeye girebilmektedir.

5.4. Mogan ve Eymir Gölleri Arasındaki Hidrojeolojik Sistemde Kütle Taşınım Modeli

5.4.1. Kirletici türünün belirlenmesi

Hidrojeolojik sistemdeki hareketi, toprak ve su kaynaklarındaki etki-tepki süreci (tutulma-soğrulma) üç boyutlu kütle taşınım modeli ile benzeştirilecek olan kirletici veya kirletici grubunun belirlenmesi aşamasında arazide değişik lokasyon ve zamanlarda alınmış su örneklerine ait analiz sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında kirletici-toprak arasında oluşan tutulma süreçleri ile ilgili literatür çalışmaları da göz önünde bulundurularak kirleticiye ait bazı temel özellikler aranmıştır. Birincisi, bir kimyasal maddenin su kaynaklarında kirletici durumunda olabilmesi için kamu veya özel kuruluşlar tarafından belirlenen limit değerlerinin (içme veya kullanma suları) üzerinde olması gerekmektedir. İkincisi, kirletici veya kirletici grubunun yeraltısuyu akım sistemindeki taşınım hareketi sırasında ortam koşullarına bağlı olarak (tane boyu, kirletici türü vb.) toprak ile kirletici arasında gerçekleşen tutulma sürecinin kirletici miktarı üzerindeki etkilerinin maksimum olması gerekmektedir. Bu etki birden fazla kirletici grubunun gözlemlendiği durumlarda tutulma sırasında kirleticilerin toprak ile tepkimeye girme önceliğine (selectivity adsorption of soil) bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üçüncüsü ise kirleticinin özellikle sistemde kirlenmeye neden olan kaynak lokasyonunda standartların üzerinde olmak şartıyla diğer lokasyonlarda da sürekli veya kesikli olarak farklı derişimlerde gözlenebilmesidir. Son özellik aynı zamanda modelleme aşamasında kirleticiye ait sınır koşullarının tanımlanmasında ve kütle taşınım parametrelerinin kalibrasyon aşamasında gerekli olan bir özelliktir.

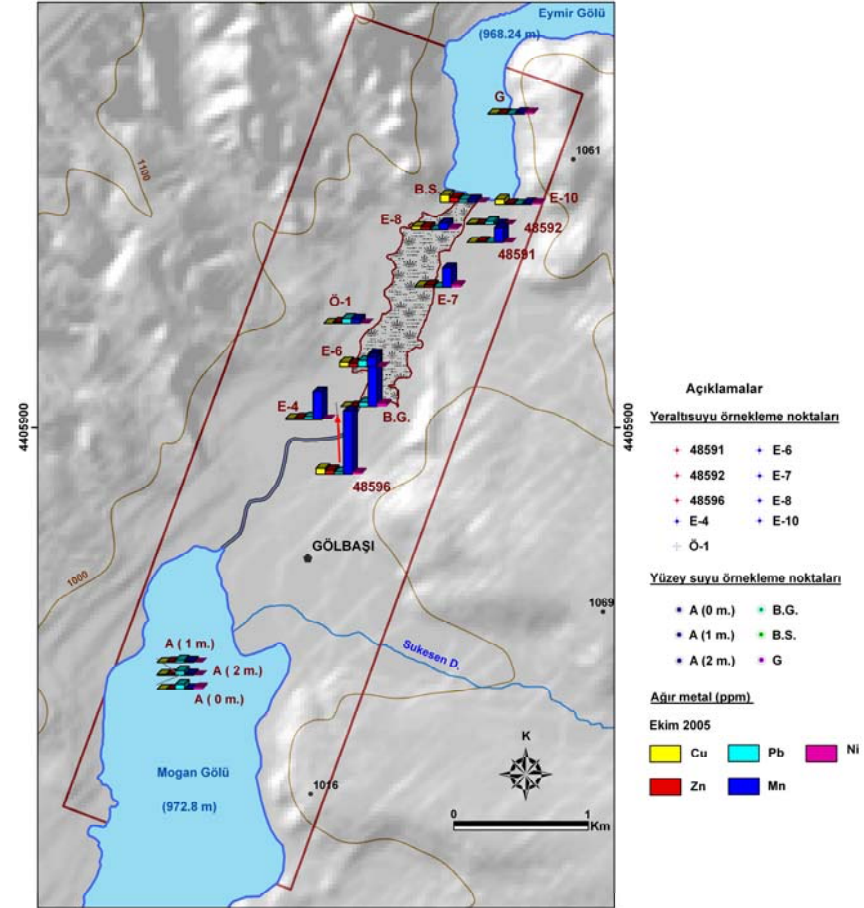
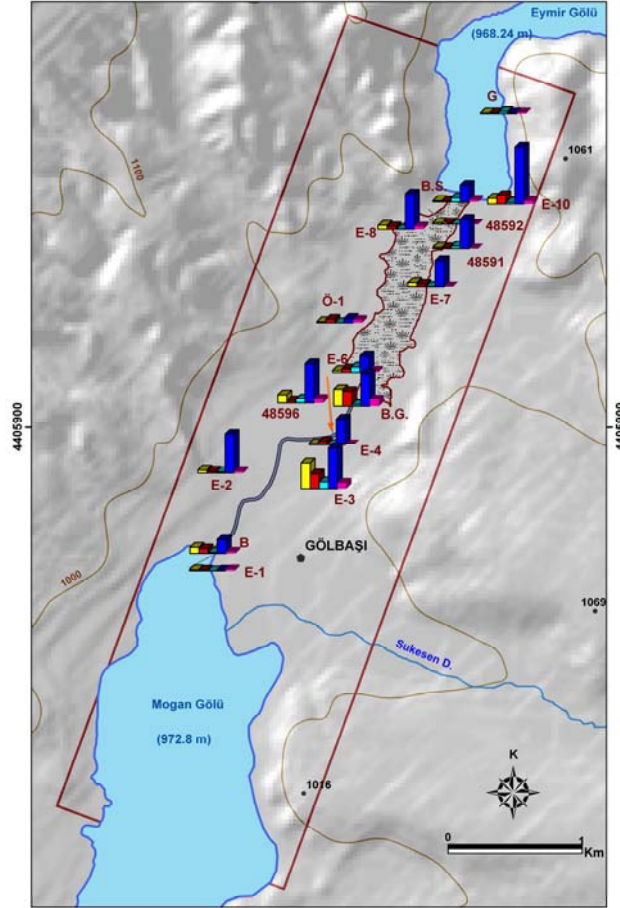
İnceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarından alınan su örneklerine ait analiz sonuçlarına göre kaynaklarda kirlenmeye neden olabilecek

ağır metal ve azotlu organik kirleticiler olmak üzere iki farklı kirletici türü belirlenmiştir (Bkz Bölüm 3.5). Bu kirleticilerden ağır metaller örneklenen bütün lokasyonlarda sürekli veya kesikli olarak (Şekil 5.2, 5.3), diğer bir kirletici türü olan azotlu organik bileşikleri ise belirli lokasyonlarda sürekli veya kesikli olarak gözlenmiştir (Şekil 5.4, 5.5). Özellikle ağır metallerden Cu, Mn, Zn ve Fe örnekleme yapılan bütün yeraltı ve yüzeysuyu kaynaklarında, azotlu organik bileşiklerinden NO_3^- , E-2, E-3, E-6, ve Ö-1 kuyularında, NH_4 ve PO_4 ise sadece bataklık girişinde sürekli olarak ölçülmüştür.

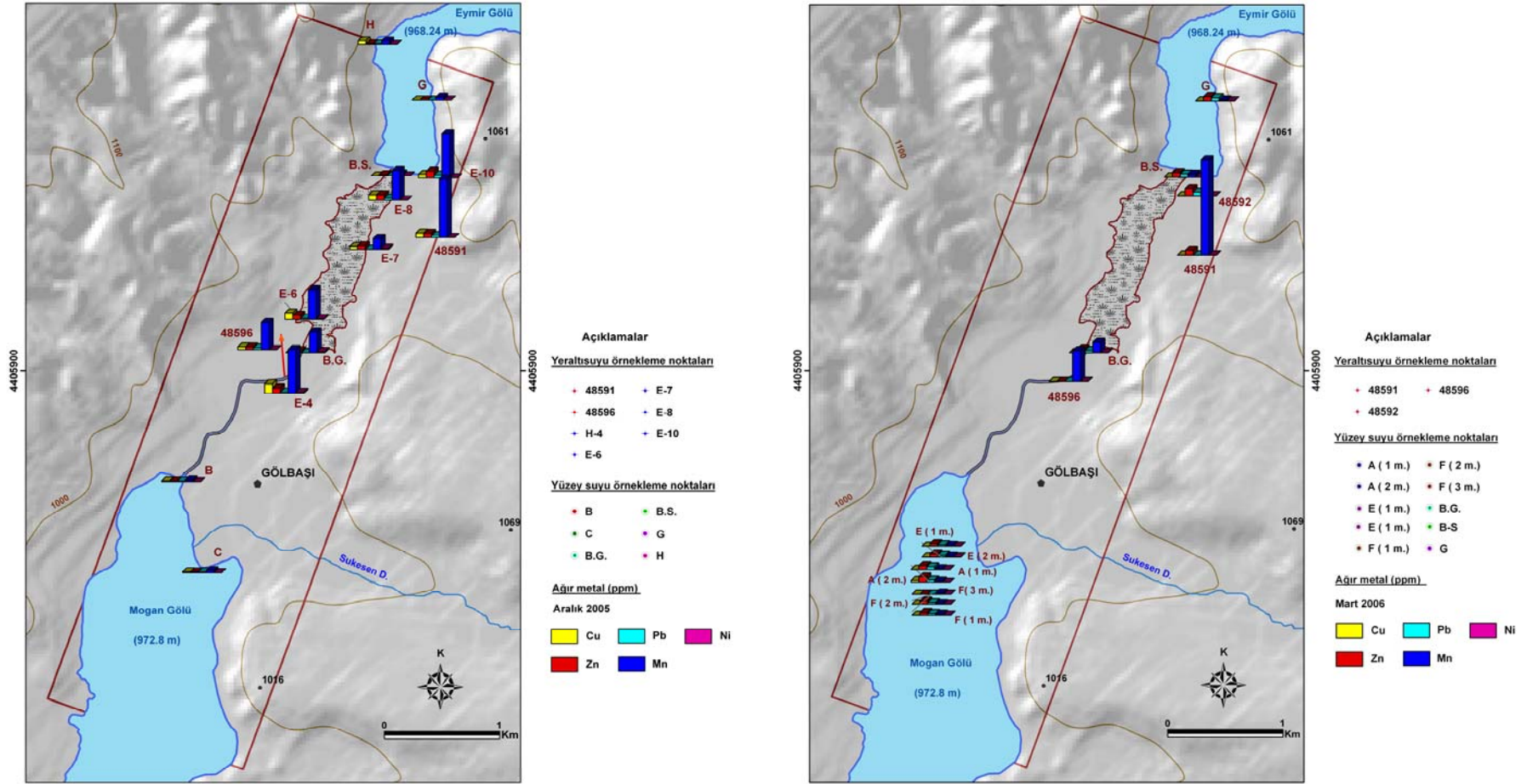
Yukarıda değinilen bütün etkenlerden dolayı tez çalışması kapsamında yapılması planlanan üç boyutlu kütle taşınım modelinde Cu, Zn ve Mn ağır metallerinden oluşan çok bileşenli (multi-component) kirletici grubunun taşınım hareketinin sistem içerisindeki etkilerinin konuma ve zamana bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çünkü bu metallerden Cu ve Zn'nun toprak zonundaki tutulma sürecinde tepkimeye girmedeki öncelik sırası diğer ağır metallere göre daha baskın gelmekte ve bundan dolayı da sistemdeki etkileri diğerlerine göre daha fazla olmaktadır. Mn'in ise diğer bütün ağır metallere göre tepkimeye girme önceliği daha zayıf olduğundan sistemdeki tutulma etkisi de minimum olmaktadır (Kaoser,2003). Bu üç ağır metalin akım yönünde değişik lokasyonlarda alınan su örneklerinde de benzer bir davranış göstermediği gözlenmiştir.

Eymir Gölü ve bataklık bölgesindeki gerek yüzey sularında gerekse yeraltısularında belirlenen bazı kirletici derişimlerinin (Zn, Cu, Mn, NO_3) Mogan Gölü ile bataklık girişi arasında yer alan örnekleme lokasyonlarında almış oldukları değerlerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.). Bu bölgede gözlenen kirlenmenin kaynağını bataklığın her iki tarafında yer alan tesislerinden ve eski çöp depolama alanından kaynaklanan kirleticiler oluşturmaktadır (Oto sanayi, taş işleme ocakları, TEK ve TEK 'e ait lojmanlar). Bu tesislere ait kontrolsüz katı atık alanları (özellikle TEK ve oto sanayine ait hurdalık, taş işleme ocakları ve eski çöp depolama alanı) bataklığın ve Eymir Gölü'nün drenaj alanı içerisinde yer aldığından dolayı olarak bu tesislere ait katı ve sıvı atıklar yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarını etkilemektedirler. Bu durum bataklıkta, Eymir Göl suyunda ve bu bölgelerde meydana gelen süzülme hareketi yeraltısuyunda kirlenmeye neden olmaktadır.

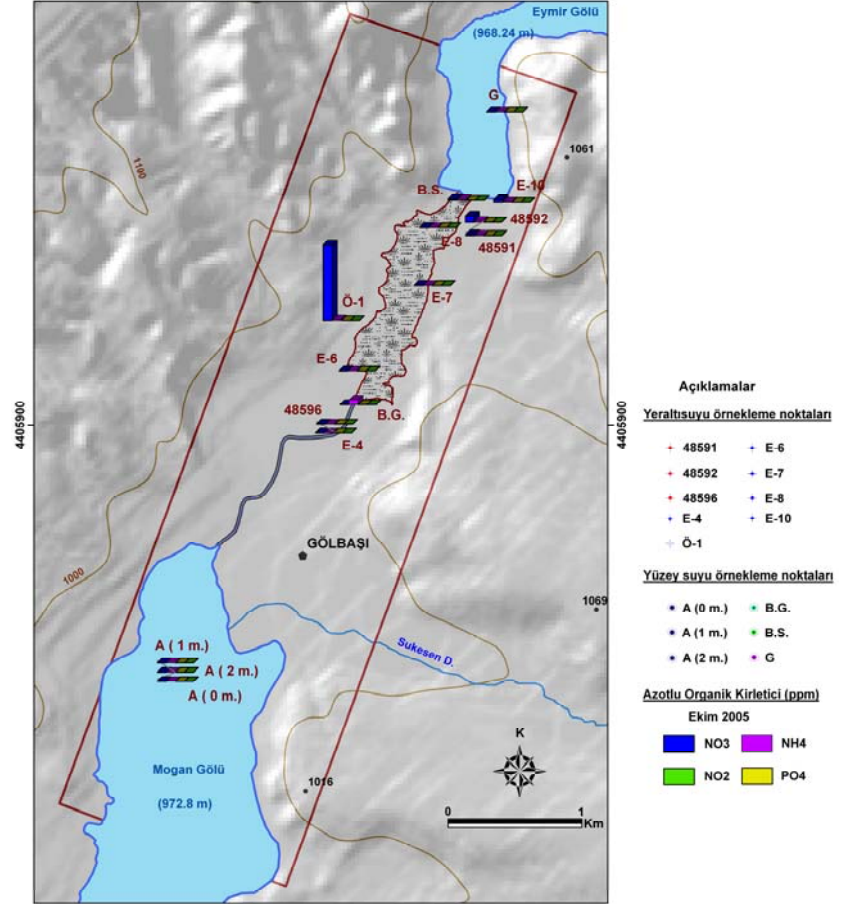
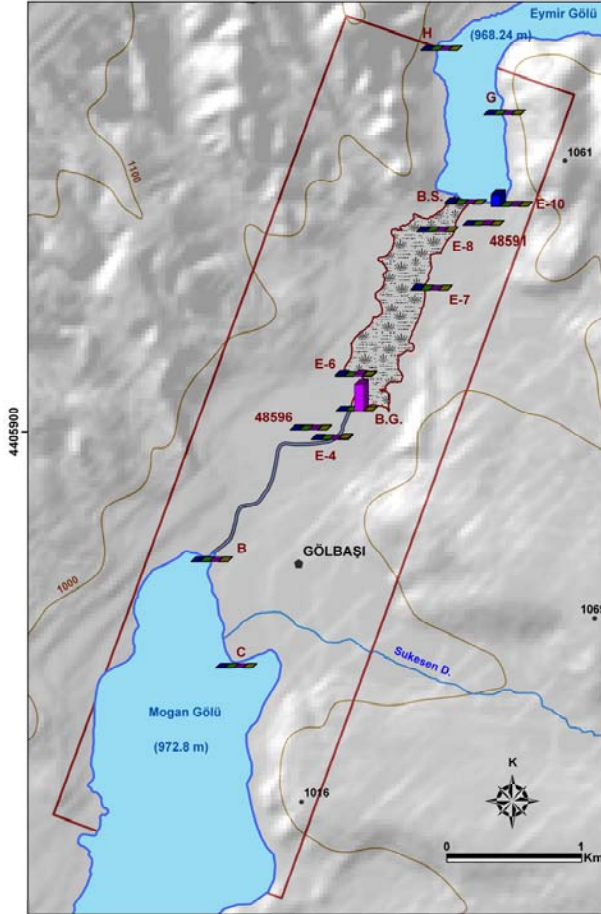
Mogan Gölü kaynaklı kirleticiler gözenekli ortam içerisinde akım yolu boyunca Eymir Gölü'ne doğru fiziksel ve kimyasal süreçler ile taşınırken ortam koşullarına bağlı olarak derişimlerinde farklı oranlarda değişmeler meydana gelmektedir. Özellikle sistemde kirleticilerin taşınım hareketinde diğer fiziksel taşıyıcı (dispersiyon, difüzyon vb.) etkenlere göre daha baskın mekanizma konumunda olan advectif taşınım sürecinde YAS hareketinin konuma ve zamana bağlı olarak değişmesine göre kirleticilerin derişimindeki değişim miktarı daha fazla kendini göstermektedir. Ayrıca bu sürece kirleticilerin içerisinde hareket ettiği hidrolik birimlerin jeohidrolojik özellikleri (tane boyu dağılımı, kil ve silt içeriği vb.), tanelerin mineral yapısı ve organik madde içeriğine bağlı olarak gerçekleşen tutulma süreçleri de eklenince kirletici derişimlerinde değişim maksimum olmaktadır. İnceleme alanında yer alan kuyularda belirlenen kirleticilere ait miktarların konuma ve zamana bağlı olarak değişim süreci incelendiğinde hidrojeolojik sistemin jeohidrolojik özelliklerine bağlı olarak iki farklı davranış gösterdiği belirlenmiştir. Genelde iri tanelerin hakim olduğu Mogan Gölü mansabı (M.G.M) ile bataklık girişi (B.G.) arasında (Şekil 5.6) kirleticilerin hareketi sırasında yeraltısuyu akım yönüne bağlı olarak miktarlarında belirgin bir değişim gözlenmemektedir. Bununla beraber tane boyu bakımından daha küçük birimlerin hakim olduğu bataklık başlangıç lokasyonu (B.G.) ile bataklık sonu (B.S.) arasında kalan alanda ise kirletici miktarlarında önemli ölçüde seyrelme meydana gelmektedir. Kuyularda gözlenen kirleticilerin konuma ve zamana bağlı olarak salınım hareketleri incelendiğinde ağır metaller üzerindeki tutulma sürecinin diğer kirletici türüne göre daha baskın olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 5.2.,5.3, 5.4, 5.5.). Bu durumda B.G. ile B.S arasında yer alan bu bölge kirleticilerin taşınım hareketi sırasında yeraltısuyu için bir tür doğal filtre görevi gördüğü ve böylece Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne yeraltısuyu akımı ile giriş yapan kirletici miktarında azalma meydana geldiği gözlenmiştir.



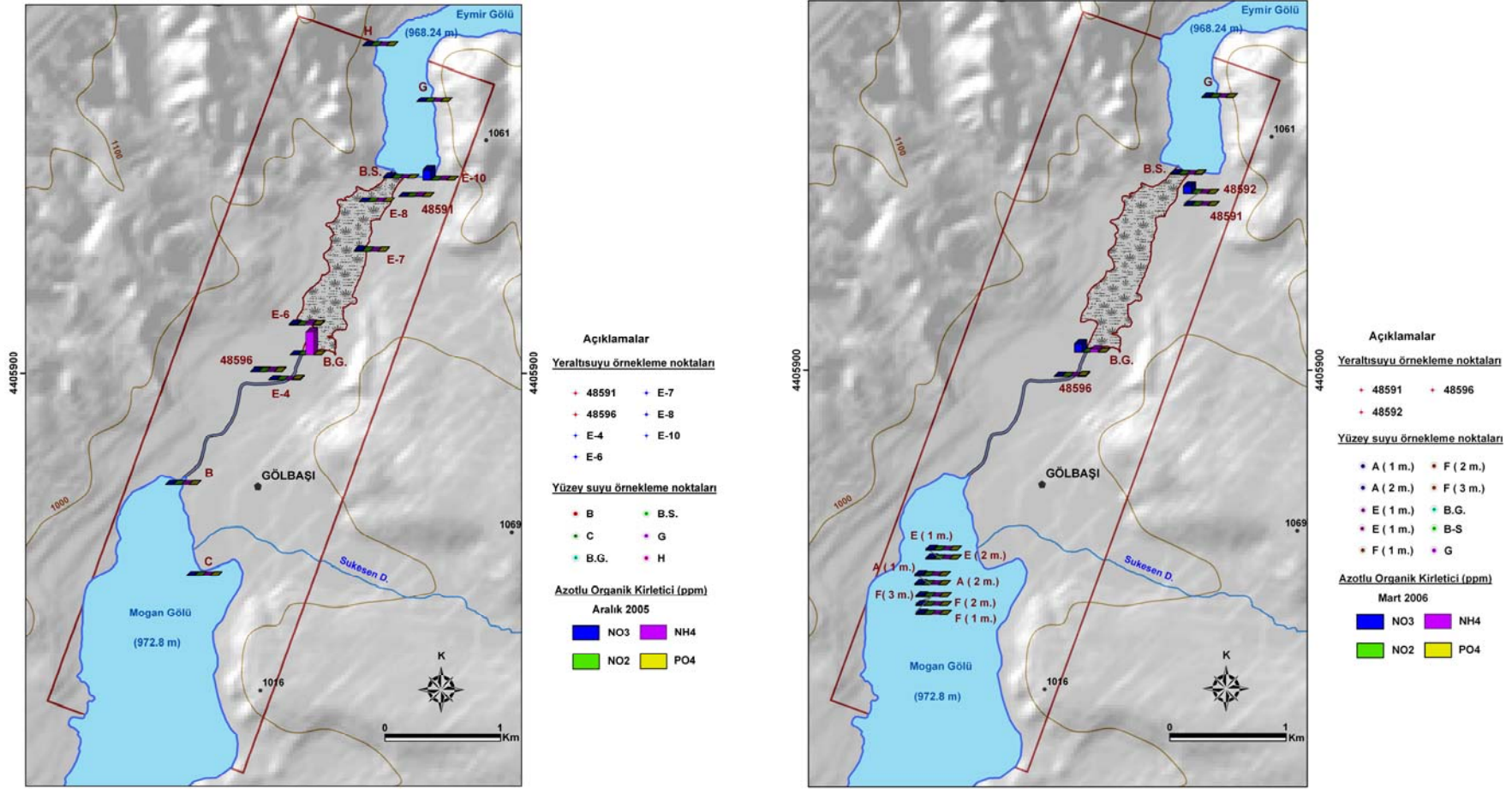
Şekil 5.2. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen ağır metaller (Ağustos, 2005; Ekim 2005).



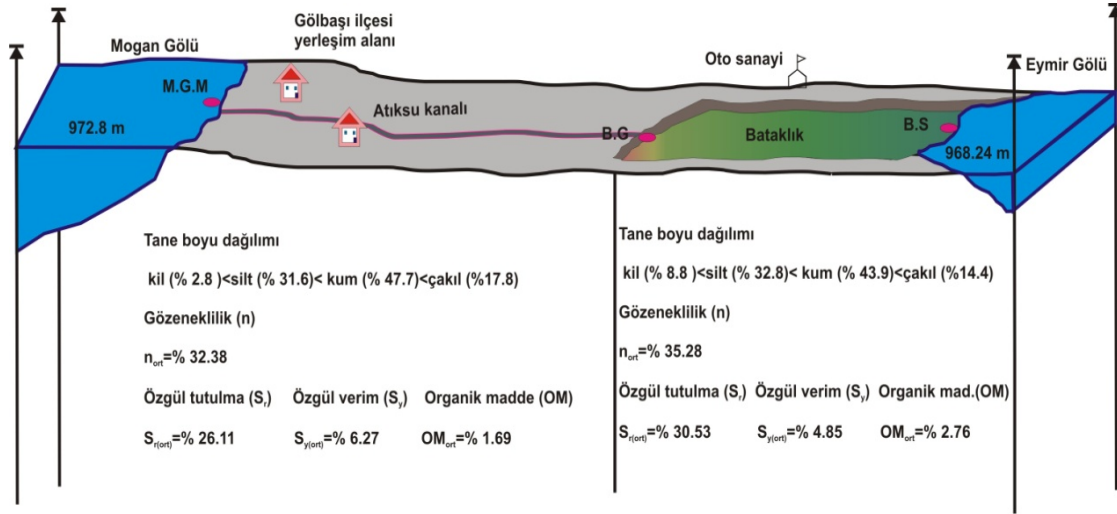
Şekil 5.3. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen ağır metaller (Aralık, 2005; Mart, 2006).



Şekil 5.4. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen azotlu organik kirleniciler (Ağustos, 2005; Ekim 2005).



Şekil 5.5. Çalışma alanında yer alan sondaj kuyularında ve yüzeysuyu kaynaklarında belirlenen azotlu organik kirlenici (Aralık, 2005; Mart, 2006).



Şekil 5.6. Hidrojeolojik sistemin taşınım açısından değerlendirilmesi.

5.4.2. Taşınım parametrelerinin belirlenmesi

Tutulma deneyi

Tutulma (batch) deneyi, gözenekli ortamlarda katı matriks ile sıvı fazdaki kimyasal çözelti arasında gerçekleşen tutulma veya soğrulma aşamalarında kirlenici madde miktarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişim sürecini tanımlamak amacı ile yapılan deneylerdir. Bu deneylerde tutulma süreci yani kirlenici maddenin sıvı fazdan katı faza olan yer değiştirme hareketi zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Deney başlangıcından itibaren gerçekleşen yer değiştirme hareketi kirlenicinin türüne ve ortam koşullarına bağlı olarak farklı hızlarda tepkimeye girmekte ve bu hareket katı tarafından tutulan ile sıvı fazda kalan kirlenici arasında yerel kimyasal denge koşulları oluşana kadar devam etmektedir. Bu deneyler, paylaşım katsayısı (K_d), özgül yüzey alanı (η) ve organik karbon içeriğinin (f_{oc}) belirlenmesinde (Karickhoff et al.1979; Chiou et al., 1981; Hassett and Banwart, 1989) kullanılmaktadır.

Tutulma deneyi, metodoloji olarak hazırlanması ve uygulanması kolay olmasından dolayı en çok tercih edilen yöntemdir (ASTM, 1987; EPA, 1991; Roy et al., 1991). Bu deney, genellikle sınırlı alanlarda meydana gelen taşınım hareketi sırasında kimyasal madde derişimi ile sıvı faz (yeraltısuyu) arasında homojen bir karışımın olduğu ve sistemde kirlenmeye neden olan kimyasal maddeye ait ilksel derişim değerinin bilindiği durumlarda yapılmaktadır (Liedl et al., 2003).

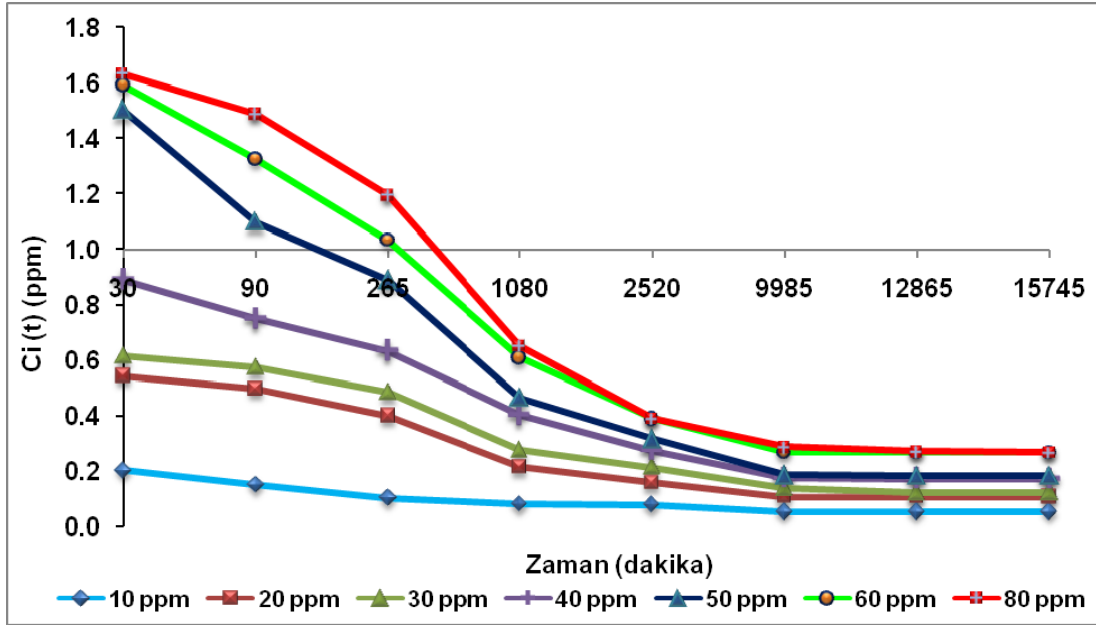
Bu çalışmada, tutulma deneyleri iki farklı aşamada değerlendirilmiştir. Birinci aşama, kirletici hareketinin meydana geldiği hidrojeolojik sistemde toprak ile kirletici arasında oluşan tutulma sürecinin hangi koşullar altında yerel kimyasal denge (YKD) koşullarına ulaştığını belirlemek amacı ile yapılmıştır. Bu amaçla yapılacak olan bu deneyde tutulmanın en fazla meydana gelme olasılığı en yüksek toprak örneği olarak kil birimi (Kuyu no: E-8, 969.4- 963.815 m), kirletici olarak da tepkimeye girme önceliği diğer ağır metallere ($Cu \geq Zn > Mn$) göre en fazla olan Cu ağır metali kullanılmıştır. Deneyde kullanılmak üzere kil biriminden her biri 0.5 gr olmak üzere 7 adet örnek hazırlanmış ve hazırlanan toprak örnekleri ayrı ayrı 100 ml cam beherlere boşaltılmıştır. Bundan sonra, ilksel derişimleri ($C_i(x_0, t_0)$) birbirinden farklı olacak şekilde toprak örnek sayısı kadar ve her birinin hacmi 50 ml olacak şekilde içinde değişik derişimlerde (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 ppm) Cu metal içeren çözeltiler hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan her bir çözelti içerisinde toprak örneği bulunan beherlere ilave edilmiştir. Tutulma sürecinde ortamın pH'ı önemli bir parametre olduğu için hazırlanan karışımlara ait pH değerlerini yeraltısuyunda ölçülen pH değeri ile aynı seviyeye getirilmiştir ($pH=7.15 \pm 0.15$). Bu amaçla hazırlanan karışımlara asit veya baz çözeltileri eklenmiştir. Çünkü yeraltısuyunda pH dereği azaldıkça ortam asidik bir özellik kazandığından metaller daha kararlı davranış göstermekte ve bundan dolayı da tutulma azalmaktadır. Bundan sonra hazırlanan karışımlar günde üç defa olmak üzere 1'er dakika çalkalanarak içi saf su ile dolu sıcak su banyosunda ($24 \pm 1^\circ C$) bekletilmiş (Fotoğraf 5.1) ve aynı zamanda karışımlardan değişik zamanlarda örnekleme yapılmıştır. Bu işlem tekrarlanarak iki hafta boyunca devam ettirilmiş ve karışımdan alınan çözelti örnekleri H.Ü. UKAM-Su Kimyası Laboratuvarı'nda bulunan Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi cihazında analiz edilmiştir. Elde edilen analiz verilerinin derişim-zaman grafiğinde değerlendirilmesi ile toprak ile Cu metali arasındaki denge koşullarının yaklaşık 9. günden itibaren sağlandığı belirlenmiştir (Şekil 5.7). Bununla beraber denge koşullarında çözeltide bulunan Cu ağır metaline ait derişim değerinin yaklaşık % 97' si deney başladıktan 30 dakika sonra, geriye kalan % 3'ü ise 9 gün boyunca meydana gelen tepkimeler sonucunda katı matriks tarafından tutulduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.8).

İkinci aşamada ise gözenekli ortamda kirleticilerin hareketi sırasında YKD koşullarında oluşan izoterm modellerini ve buna bağlı olarak tutulma

parametrelerini (K_d ve R_f katsayılarını) belirleyebilmek amacı ile tutulma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan toprak örneklerinin belirlenmesinde birimlerin tane boyu dağılımı, yüzey suyu kaynakları ile olan ilişkileri ve zaman parametresi göz önünde bulundurulmuştur. Aynı zamanda seçilen toprak örneklerin hidrojeolojik sistemdeki heterojeniteyi temsil edebilecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Bundan dolayı E-1, E-2, E-4, E-7, E-8 ve E-10 nolu kuyulardaki birimlerin gözenekli ortamdaki heterojeniteyi temsil edeceği kabul edilmiş ve bu birimlerde tutulma deneyleri yapılmıştır.



Foto 5.1. Toprak örneklerinin soğuk su banyosunda korunması

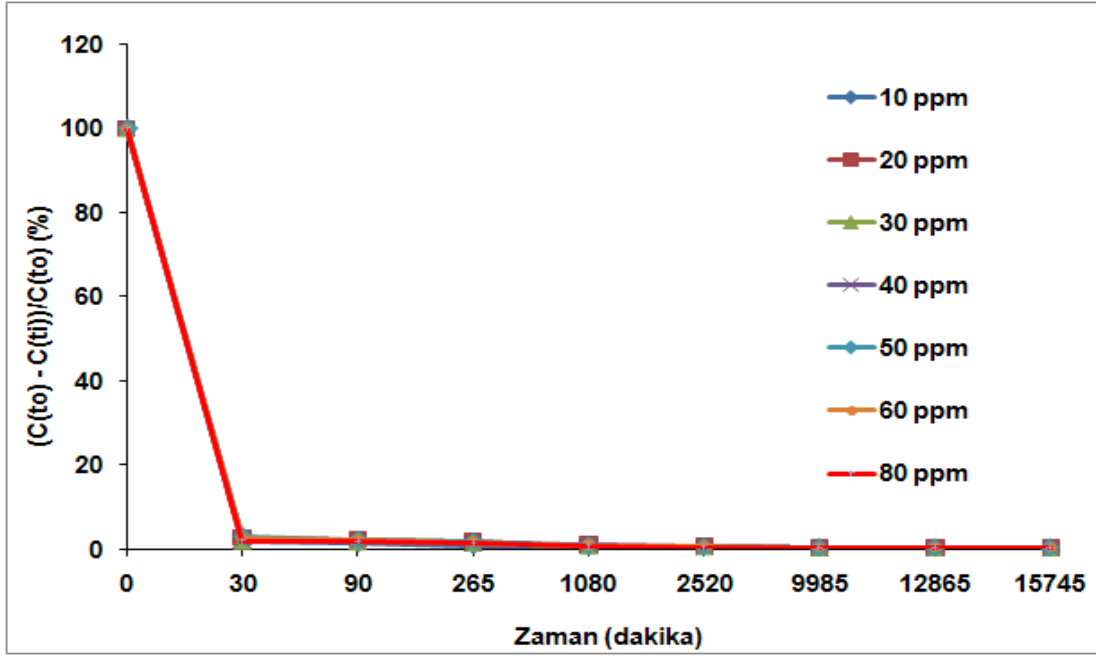


Şekil 5.7. Bakır (Cu) ile toprak örneği (kil) arasında meydana gelen tutulma süreci sırasında çözeltideki derişimin zamana bağılı değişimi.

Cu, Zn ve Mn olmak üzere üç farklı ağır metalin hidrojeolojik sistemdeki tutulma süreçleri inceleneceğinden tutulma deneylerinde çözeltiler (10, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 100 ppm) çok bileşenli olarak hazırlanmıştır. Böylece yapılan deneyler sonucunda toprak örneklerinde her bir ağır metale ait tutulma izoterm modeli belirlenmiştir. Deneylerde, tane boyu dağılımı ≤ 2 mm'den (EPA, 1999) küçük olan taneler kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlarda denge koşulları sağlandıktan sonra (9. gün) kirletici bakımından doymuş duruma gelmiş olan toprak örneklerinde tutulan madde miktarını (S_i) belirlemek amacı ile çözeltilerden örnek (10 ml) alınmıştır. Örneklerdeki metal derişim değerleri $C_i(t_i)$, atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir. Böylece YKD koşullarında her bir çözeltide kalan $C_i(t_i)$ değerleri belirlenmiş ve belirlenen bu değerlerinin "Eş. 5.12" kullanılması ile S_i değerleri hesaplanmıştır. Son olarak her bir toprak örneğinde $S_i - C_i(t_i)$ değişim grafiğinden elde edilen eğrinin şekline göre tutulma izoterm modelleri tanımlanmış ve tutulma izoterm model türüne bağlı olarak tutulma parametreleri Henry, Langmuir ve Freundlich tarafından tanımlanan eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Bkz. Eş. 5.2, 5.5 ve 5.7). Yapılan deneyler sonucunda YKD koşullarında toprak örnekleri ile Cu ağır metali arasında doğrusal, Zn ve Mn ağır metallerinde ise genelde doğrusal olmayan izoterm modelleri gözlenmiştir (Ek-5). Ayrıca tutulma deneylerinde sonucunda her bir metal için hesaplanan K_d parametresine ait ortalama değerlerin $Cu > Zn > Mn$ şeklinde bir sıralama gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Bu durum deneylerde kullanılan ağır metallerin inceleme alanında yer alan hidrolik birimler ile tepkimeye girme öncelikleri veya eğilimleri $Cu > Zn > Mn$ şeklinde bir sıralama gösterdiği anlamına gelmektedir. Bununla beraber her bir toprak örneğinde ağır metaller için hesaplanan K_d parametresinin almış olduğu değerler karşılaştırıldığında ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Cu ağır metali için K_d değerinin kil > siltli killi kum > kumlu tın > siltli tın > tınlı kum > kum,
2. Zn ağır metali için kil > kumlu tın > tınlı kum $\geq$ kum > siltli killi tın > siltli tın,
3. Mn ağır metali için ise kil > kum > kumlu tın > siltli tın > siltli killi tın > tınlı kum

şeklinde bir değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.8. Tutulma sırasında sıvı fazdaki Cu derişiminde zamana bağılı olarak meydana gelen değişim

$$S_i = [C_i(x_0, t_0) - C_i(x_i, t_i)] * V * M^{-1} \quad (5.11)$$

Burada;

S_i :katı faz tarafından tutulan kirletici madde miktarı (M/M)

$C_i(t_0)$:sıvı fazdaki kirletici maddenin ilksel derişim değeri (ML³),

$C_i(t_i)$:yerel denge durumunda sıvı fazdaki kirletici madde derişimi (ML³),

V :çözelti hacmi (L³),

M :toprak örneğinin havada kurutulmuş ağırlığını (M) ifade etmektedir.

Kolon deneyleri

Gözenekli ortamlarda, herhangi bir kirletici veya izleyici madde, yeraltısuyu hareketi ile taşınması sırasında ortamın özelliklerine bağılı olarak (gözenek hacmi, tane boyu dağılımına vb.) değişik boyutlarda yayılma ve saçılma hareketine maruz kalmaktadır. Kirletici derişiminde meydana gelen saçılma veya dağılma boyutu dispersiyon parametrelerine bağılı olarak değişim göstermektedir. Bu parametreler

laboratuvar ortamında yapılan, advectif ve dispersiyon süreçlerinin gerçekleştiği tek boyutlu kütle taşınımının olduğu kolon deneyleri ile belirlenmektedir.

Çizelge 5.1. Tutulma deneyleri sonucunda hidrolik birimlerde belirlenen tutulma parametrelerine ait ortalama değerler.

Hidrolik birim	Ağır metal	Örnek sayısı	Doğrusal model	Langmuir izoterm modeli		Freundlich izoterm modeli	
			K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (boyutsuz)	K_f (l/kg)
Kil	Cu	3	32550.350				
	Zn	3		10985.148	0.807	0.236	5876.246
	Mn	3		7587.391	0.513	0.360	3086.978
Siltli killi tın	Cu	3	25828.620				
	Zn	2		8963.366	1.400	0.302	4625.576
	Mn	2		5083.984	0.518	0.282	2049.710
Kumlu tın	Cu	5	24403.030				
	Zn	2		10730.383	0.620	0.404	4373.631
	Mn	4		5733.185	0.292	0.378	1596.464
Tınlı kum	Cu	7	18170.760				
	Zn	6		9559.206	1.316	0.291	5310.624
	Mn	6		4908.695	0.295	0.364	1391.294
Siltli tın	Cu	2	21602.290				
	Zn	2		8597.140	1.075	0.280	4300.320
	Mn	2		5267.564	0.400	0.318	1938.032
Kum	Cu	1	19370.160				
	Zn	1		9559.206	1.316	0.291	5310.624
	Mn	1		6032.819	1.238	0.133	3996.449

Laboratuvar koşullarında yapılan kolon deneylerinde Na^+ değişimli korunumlu bir izleyici olan tuzlusu (NaCl) çözeltisi kullanılmıştır. Deney sırasında her bir gözenek hacmi için elde edilen tuzlusuya ait elektriksel iletkenlik (EC) değeri ölçülmüştür. Deney sırasında EC'ye ait pik değeri ölçüldüğünde tuzlu su deneyine son verilmiş ve bundan sonra örnek tatlı su ile yıkanması işlemine geçilmiştir. Kolon deneyleri sırasında elde edilen verilerden, 5.12 ve 5.13 nolu eşitlikler ile dispersiyon 5.14 eşitliği ile dispersivite katsayısı hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

$$\left(\frac{L-V_x t}{2\sqrt{t}}\right)=\sqrt{D_L}\left[\operatorname{inverfc}\left(\frac{2C_i(t_i)}{C_i(t_0)}\right)\right] \quad (\text{Ogata \& Banks,1961}) \quad (5.12)$$

$$D_L=\left(\frac{V_x L}{8}\right)(J_{0.84}-J_{0.16}) \quad (\text{Brigham,1974}) \quad (5.13)$$

$$D_L = \alpha_L \times V_x \quad (5.14)$$

Burada:

U :gözenek hacmi (boyutsuz),

L :örnek uzunluğu (L),

V_x :ortalama yeraltısuyu hızı (L / T)

J_{0.16} : $\frac{C_i(t_i)}{C_i(t_0)}$ derişim oranının 0.16 değerine karşılık gelen $U^{-1/\sqrt{U}}$

J_{0.84} : $\frac{C_i(t_i)}{C_i(t_0)}$ derişim oranının 0.84 değerine karşılık gelen $U^{-1/\sqrt{U}}$
(boyutsuz),

α :dispersivite katsayısı (L)

D_L :dispersiyon katsayısını (L²/T) ifade etmektedir.

Çizelge 5.2. Kolon deneyleri sonucunda hesaplanan taşınım parametreleri

Hidrolik birim	Kot (m)		BRIGHAM (1974)			OGATA & BANKS (1961)		
	Z _{üst}	Z _{alt}	D _L	α _L		D _L	α _L	
			(cm ² /sn)	cm	m	(cm ² /sn)	cm	m
Siltli killi tın	968.761	967.711	0.0785	82.337	0.823	0.0571	59.913	0.599
Siltli tın	964.625	964.155	0.0036	4.126	0.041	0.0022	2.447	0.024
Tınlı kum	967.300	965.500	0.0327	13.921	0.139	0.0255	10.886	0.109
Kumlu tın	962.900	961.913	0.3808	11.682	0.117	0.2568	7.877	0.079
Kil	969.400	963.815	0.0954	94.276	0.940	0.2368	112.987	1.13
Kum	962.810	962.430	0.6477	40.829	0.408	0.4917	30.997	0.31

5.4.3. Başlangıç ve sınır koşulları ile model süresi

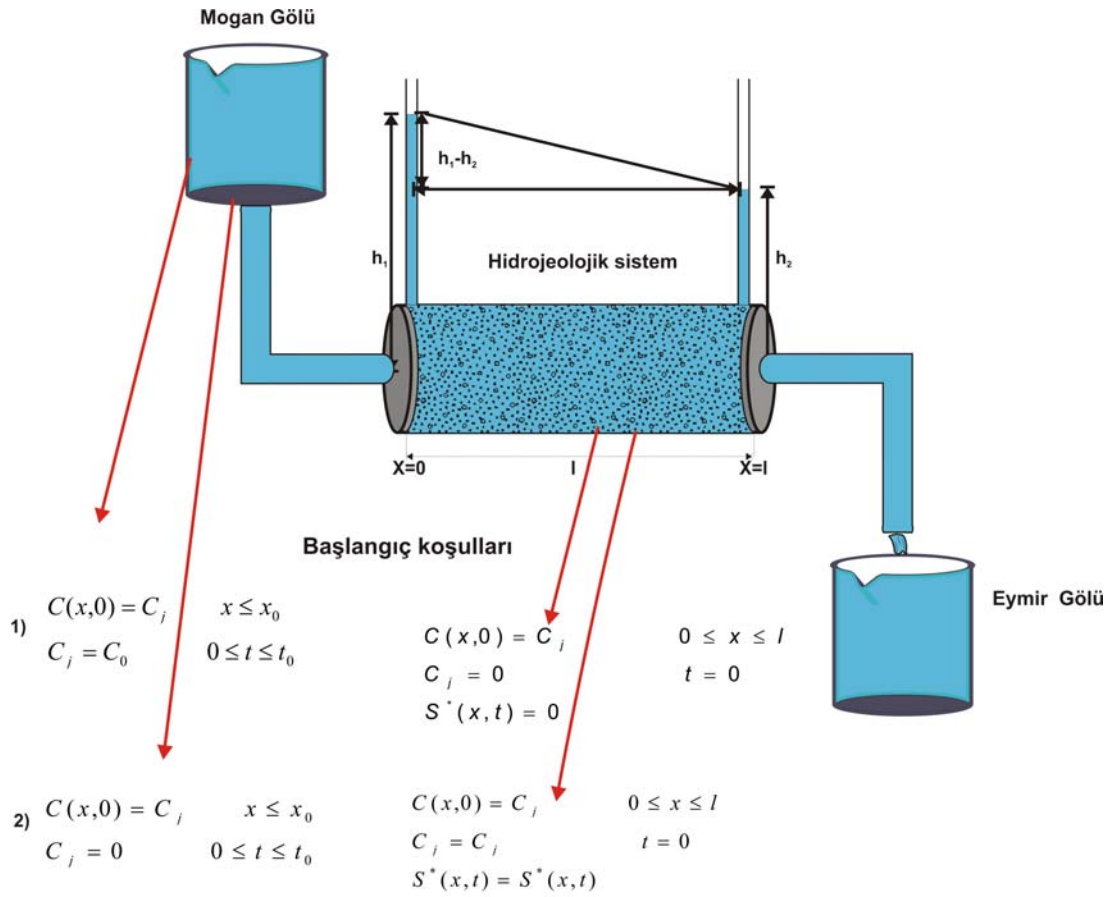
İnceleme alanı oluşturan hidrojeolojik sistemdeki kirlenmenin Mogan Gölü ile yeraltısuyu arasındaki hidrodinamik ilişkiye bağlı olarak ortaya çıktığı bilinmektedir. Bundan dolayı kütle taşınım modelinde $t = 0$ anında kirleticinin hareketinin gerçekleştiği katı matris ve yeraltısuyunda kirlenmeye neden olan kirleticinin bulunmadığı $[C_i(x, t = 0) = 0]$ kabul edilmiştir (Şekil 5.9).

Kirleticinin kaynağı konumunda olan Mogan Gölü ile hidrojeolojik sistem arasındaki temas yüzeyi boyunca Cauchy türü (karmaşık veya 3. tür sınır koşulu) koşulu geçerli olmaktadır (Şekil 5.10). $X = 0$ noktasında, kirlenmeye neden olan kaynak bölge ile hidrojeolojik sistem arasındaki sınır boyunca beslenme alanı içerisinde düşey ve yatay yönde kimyasal çözelti derişiminde homojen bir karışım söz konusu olduğundan ($X < X_0$, $X = 0$ noktasında) kirlenmeye neden olan kaynak bölge ile hidrojeolojik sistem arasındaki sınır kaynak bölgede $C(x_i, t_i) = C(x_0, t_0)$ derişim gradyanı $\frac{\partial C(x_i, t_i)}{\partial x} = 0$ olacaktır. Bu koşullar altında kaynak bölge içerisinde hidrodinamik dispersiyon, moleküler difüzyon süreçleri ihmal edilmektedir. Hidrojeolojik sistemin çıkış noktası yani Eymir Gölü ile hidrojeolojik sistem arasındaki temas yüzeyi boyunca Mogan Gölü'ndeki gibi Cauchy türü (karmaşık veya 3. tür sınır koşulu) sınır koşulu (Bkz. Şekil 5.10) geçerli olmaktadır. Model alanının kuzeybatı ve güneybatı sınırında yer alan Pliyosen yaşlı Gölbaşı ve Triyas yaşlı Eymir formasyonları genelde geçirimsizliği düşük birimlerden oluşmaktadır. Bundan dolayı bu birimlerin model alanı ile temas halinde bulunduğu yanal ve düşey yönlerde hidrojeolojik sisteme herhangi bir kirleticinin hareketi olmadığı varsayılmıştır. Bu tür beslenme sınır koşulları 2. tip sınır koşulu olarak bilinen sabit akım sınır koşulunu (Neuman) oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 5.10).

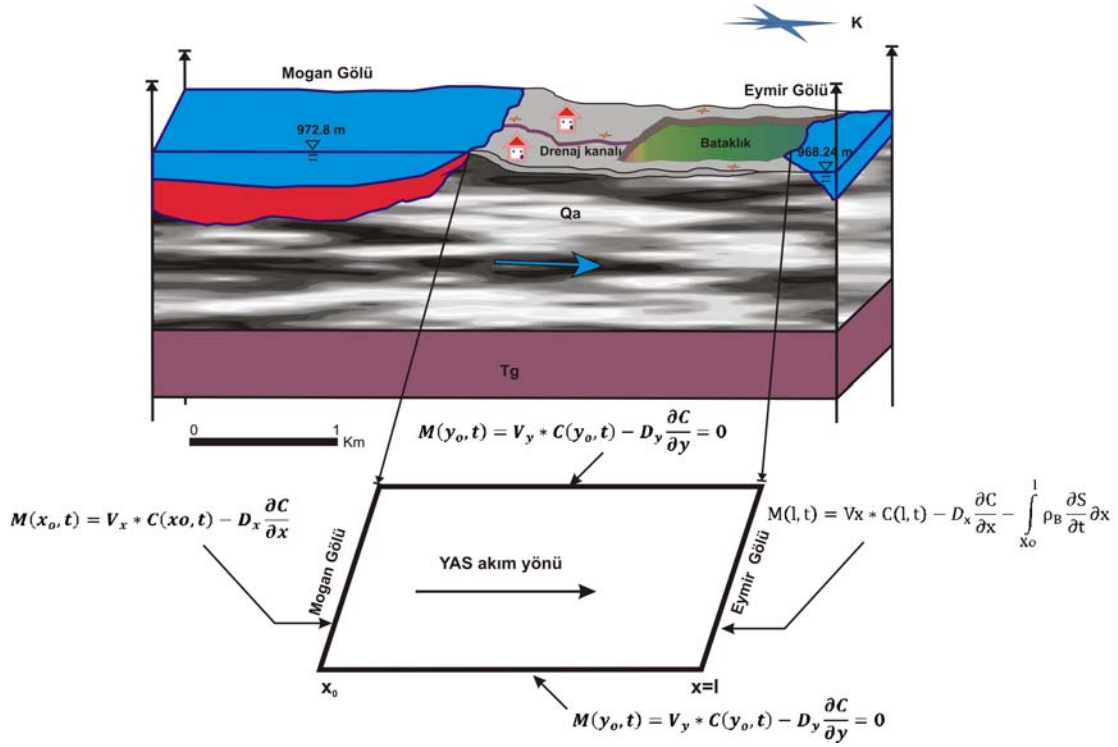
İnceleme alanında meydana gelen kütle taşınım süresinin benzeştirilmesi aşamasında yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarında değişik zamanlarda ölçülen kimyasal değerler kullanılmamıştır. Bu değerler yerine kütle taşınım modelinde kirleticinin kaynağı durumunda yer alan Mogan Gölü'nde kirleticinin derişimi sabit (100 gr/m^3) olarak kabul edilmiş ve 30 yıllık bir zaman dilimi içerisinde hidrojeolojik sistemde neden olabileceği kirlenmenin konuma göre derişimi kestirilmeye çalışılmıştır. İkinci bir 30 yıllık sürede ise Mogan Gölü'ndeki kirleticinin derişimi 0 (kirleticiden arındırılmış) kabul edilmiş ve bu durumda kirleticinin hidrojeolojik

sistemdeki hareketi sırasında derişiminde konuma bağılı olarak gerçekleşen değışim süreci kestirilmiştir.

Mogan Gölünde kirlenmenin 30 yıllık bir süre boyunca homojen bir değıer aldığı varsayılarak, Cu, Mn ve Zn için başlangıç derişimleri 100 gr/m^3 olarak verilmiştir. Bu değıer 30 yıl boyunca sabit tutulmuştur. Bu derişim model sınırları içerisinde göl hacmi düşünöldüğünde toplam 845580000 gr bir kütleyle karşılık gelmektedir. Daha sonra gölün temizlendiğı varsayılarak, göl su derişimi 0 olarak kabul edilmiş ve model 30 yıl süreyle çalıştırılmıştır. Böylece kirletici hareketi sırasında katı matris tarafından tutulmuş olan kirletici miktarının katı fazdan uzaklaşarak tekrar yeraltısuyuna geçmesi (desorption) sonucunda kirletici derişiminde zaman bağılı meydana gelen değışim süreci MT3D MS modeli ile kestirilmiştir.



Şekil 5.9. Kütle taşınım modelinde tanımlanan başlangıç koşulları (1- Mogan Gölü'nde kirletici derişimi sabit kabul edilmesi; 2-Mogan Gölü'ndeki kirletici derişimi 0 olması durumunda başlangıç koşulları)



Şekil 5.10. Kütle taşınım modelinde tanımlanan sınır koşulları

5.4.4. Taşınım Parametrelerinin Dağılımı

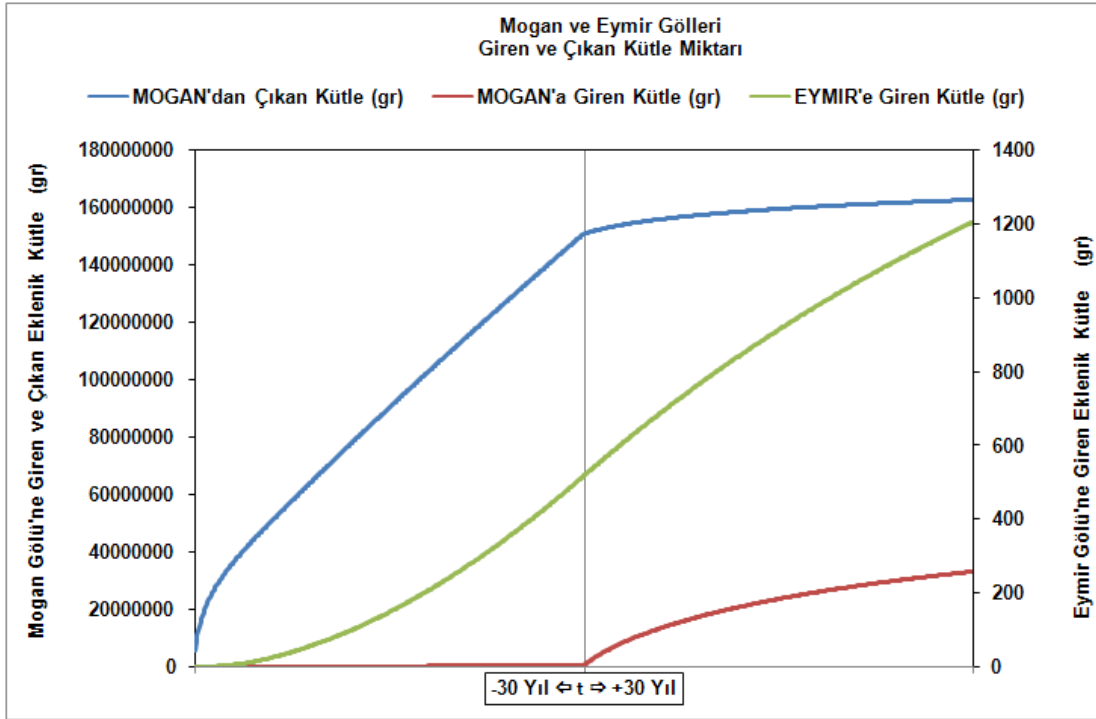
Hidrojeolojik sistemde Mogan Gölü'nden kaynaklanan ağır metal kirleticilerin sistem içerisindeki kütle taşınım hareketi advektif, dispersiyon ve tutulma süreçleri ile gerçekleşmektedir. Bundan dolayıda kütle taşınım modelinde yeraltısuyu akım model parametrelerine ilave olarak sistemdeki taşınım süreçlerini kontrol eden paylaşım katsayısı (K_d), kuru birim ağırlık (ρ_B), gözeneklilik (n) ve dispersivite (α_L) gibi parametrelere ait değerlerin her bir model katmanı için tanımlanması gerekmektedir.

İnceleme alanında gerçekleşen kütle taşınım hareketinin 3 boyutlu benzeştirilmesinde kullanılan MT3D-MS model programı kapsamında, taşınım parametreleri her bir zon için (kil, siltli killi tın, kumlu tın, tınlı kum, siltli tın ve kum) laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş parametreler girilmiştir (Bkz. Çizelge 5.1 ve 5.3). Cu ağır metali için doğrusal tutulma izoterm modeli, Zn ve Mn ağır metalleri için ise doğrusal olmayan Langmuir tutulma izoterm modeli kullanılmıştır (Bkz. Ek-5). Hidrolik birimlere ait boyuna dispersivite değerleri Ogata and Banks (1961) tarafından geliştirilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 5.2). Enine

dispersivite değerleri ise boyuna dispersivite değerlerinin 1/10, düşey yönde ise 1/100'ü olarak kabul edilmiştir.

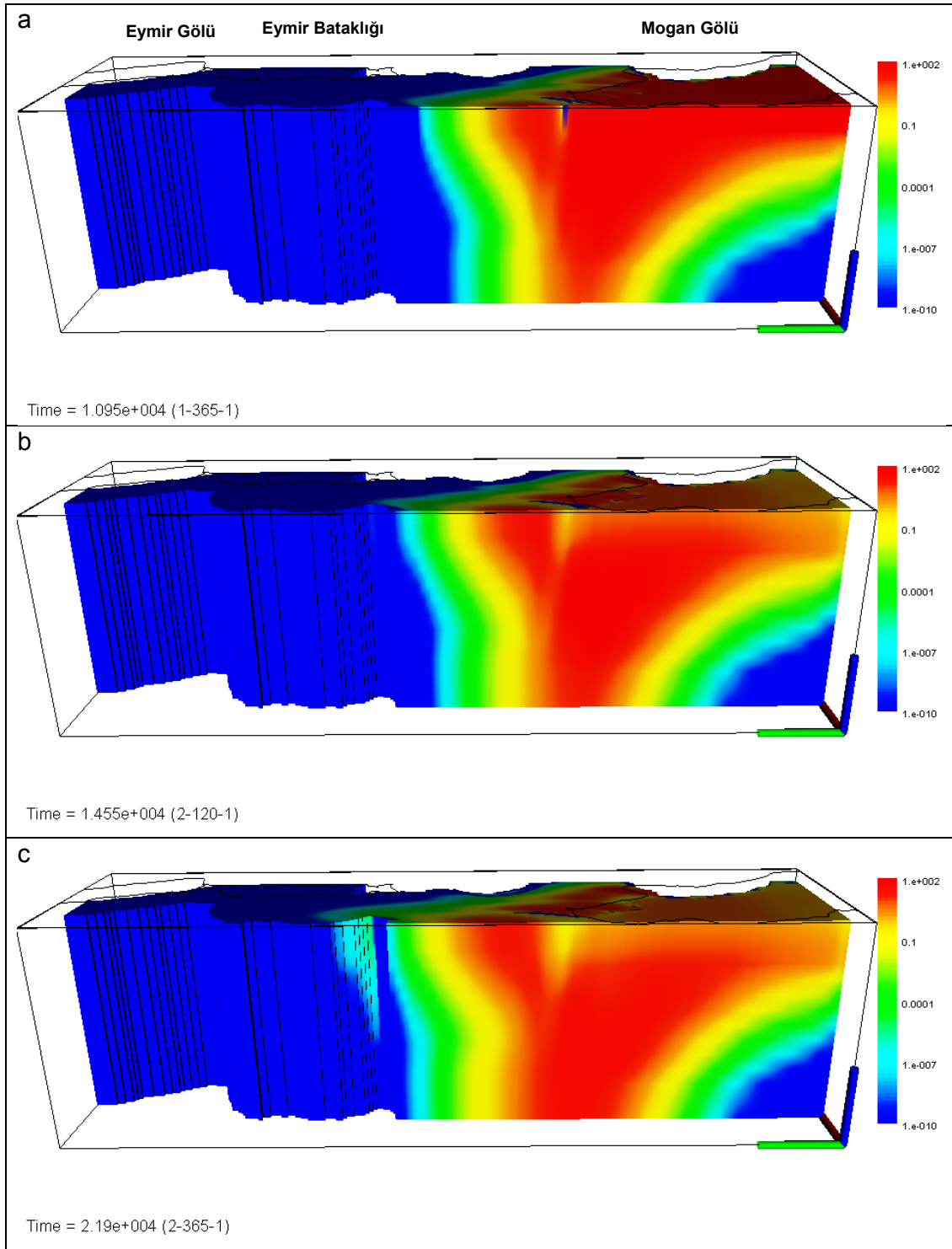
5.4.5. Model Sonuçları

Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru kirletici taşınımında, tutulma süreçlerinin rolünü yansıtabilmek üzere model ilk önce tutulma olmaksızın çalıştırılmıştır. Şekil 5.11'de model sonucunda Mogan Gölü'nden hidrojeolojik sisteme katılan kirletici miktarının zamanla artış oranı gösterilmektedir. Başlangıç koşullarında gözenekli ortamda hiç kirletici olmadığı varsayıldığından, model süresinin başlangıcından itibaren hızlı bir kütle akışı gerçekleşmiş, daha sonra akış daha yavaş ancak sabit bir oranda meydana gelmiştir. 30 yıl sonunda, göl suyunun temiz hale geldiği koşullarda ise, hidrojeolojik sistemde taşınım sürecinin çok yavaş gerçekleşmesinden dolayı sistemden Mogan Gölü'ne doğru bir miktar (~270 gr) kirleticinin aktığı görülmektedir. Bu kirletici de tekrar akış aşağı bölgede hidrojeolojik sistemine dönmektedir.

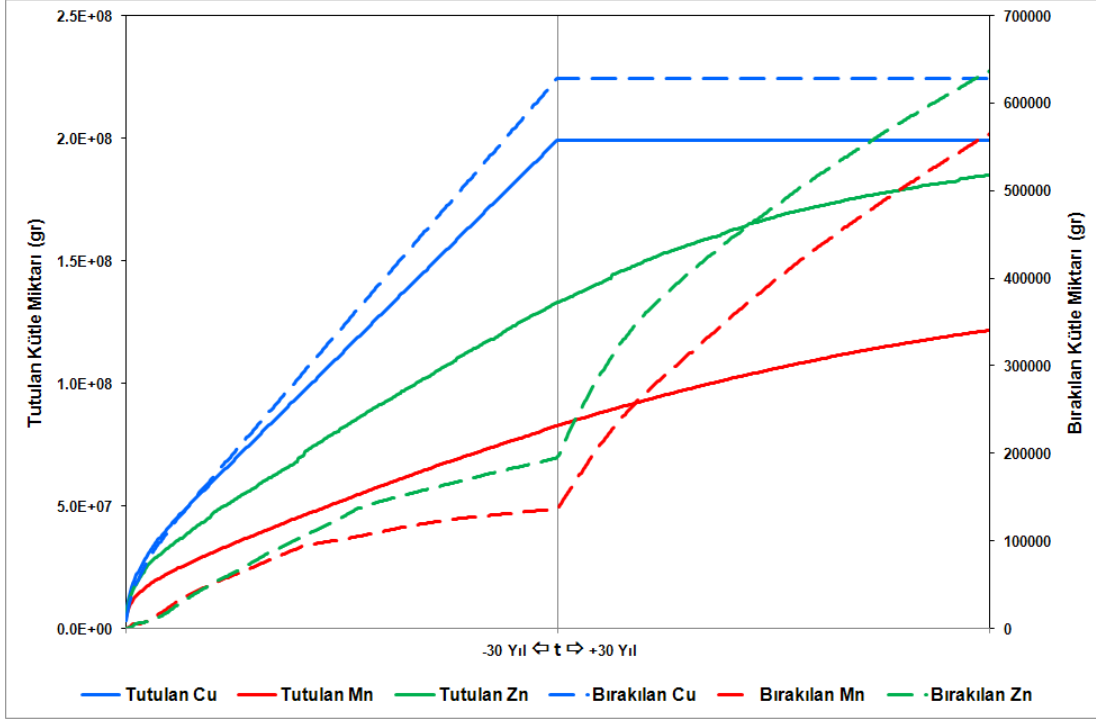


Şekil 5.11. Tutulma olmaması durumunda Mogan Gölü'nden hidrojeolojik sisteme karışan ve Eymir Gölü'ne ulaşan kütle miktarı (gr)

Şekil 5.12’de iki göl arasındaki derişim (gr/m^3) dağılımı 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. Şekil 5.12.a’da modelin başlangıcından itibaren 30. yıl sonunda, Mogan Gölü’nde 100 gr/m^3 sabit kirletici derişiminin akifer içerisindeki dağılımı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kirletici hareketi 3 boyutlu olarak gerçekleşmekte ve 30 yıl sonunda, göl temizlendiğinde dahi ilerlemeye devam etmektedir. İki göl arasındaki malzemenin geçirimliliğinin düşük olması nedeniyle kirletici taşınımı oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Şekil 5.11’de Eymir Gölü’ne ulaşan kirletici miktarının kütlesi, Mogan Gölü’nden katılan kirletici miktarının 0.0000074 ’üne karşılık gelmektedir. Mogan Gölü’nden çıkan kütlenin başlangıç kütlesine oranı ise 30 yıl sonunda %19’a eşittir. Cu, Zn ve Mn için tutulmanın gerçekleşmesi durumu varsayılarak yeniden çalıştırılan model sonucu, her 3 kirletici için tutulma ve soğrulma sürecine bağlı olarak tekrar bırakılan kütle miktarları Şekil 5.13’te gösterilmiştir



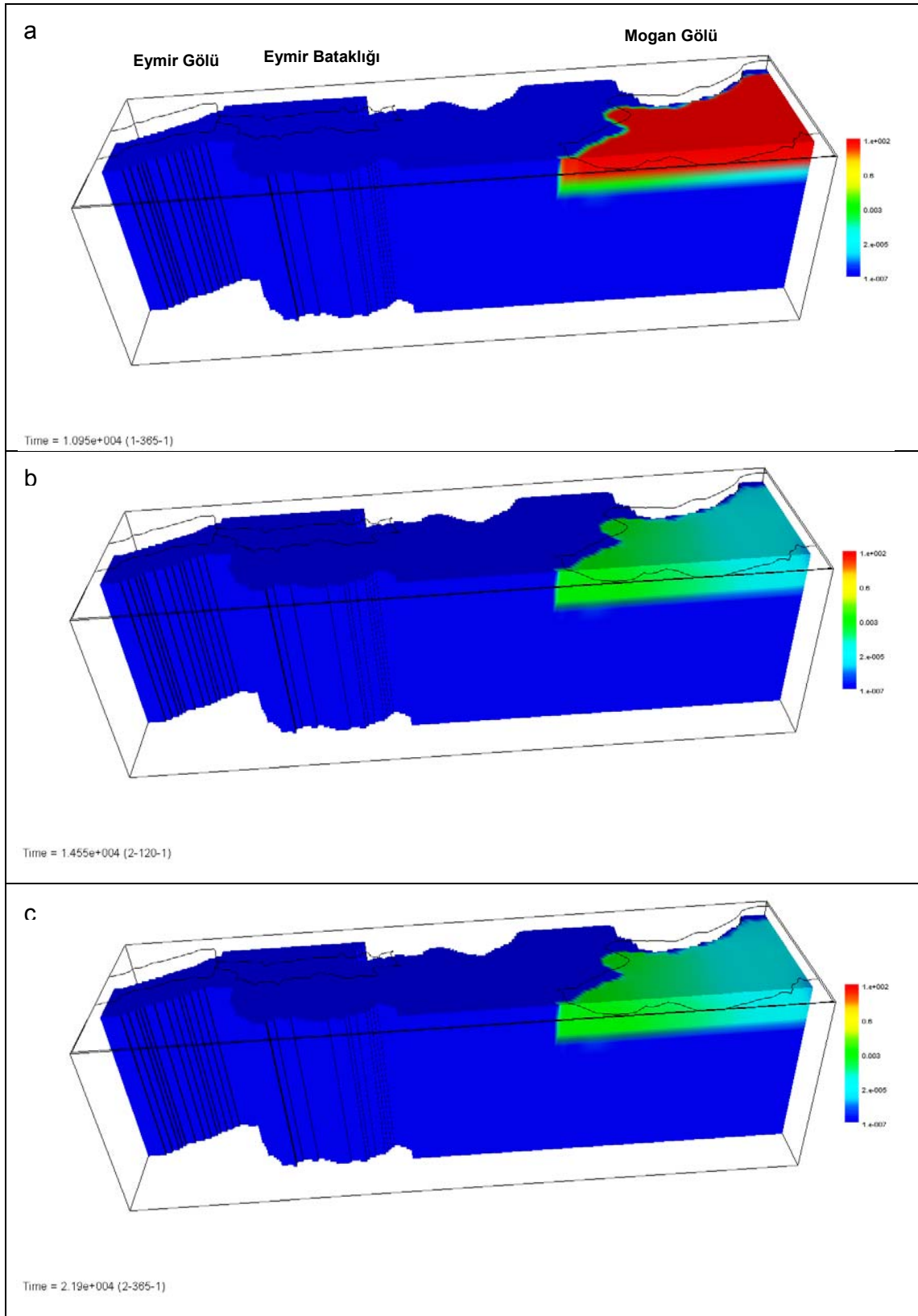
Şekil 5.12. Mogan ve Eymir gölleri arasında kirleticilerin tutulmaya uğramaması halinde a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra derişim dağılımı (gr/m^3) (logaritmik ölçek)



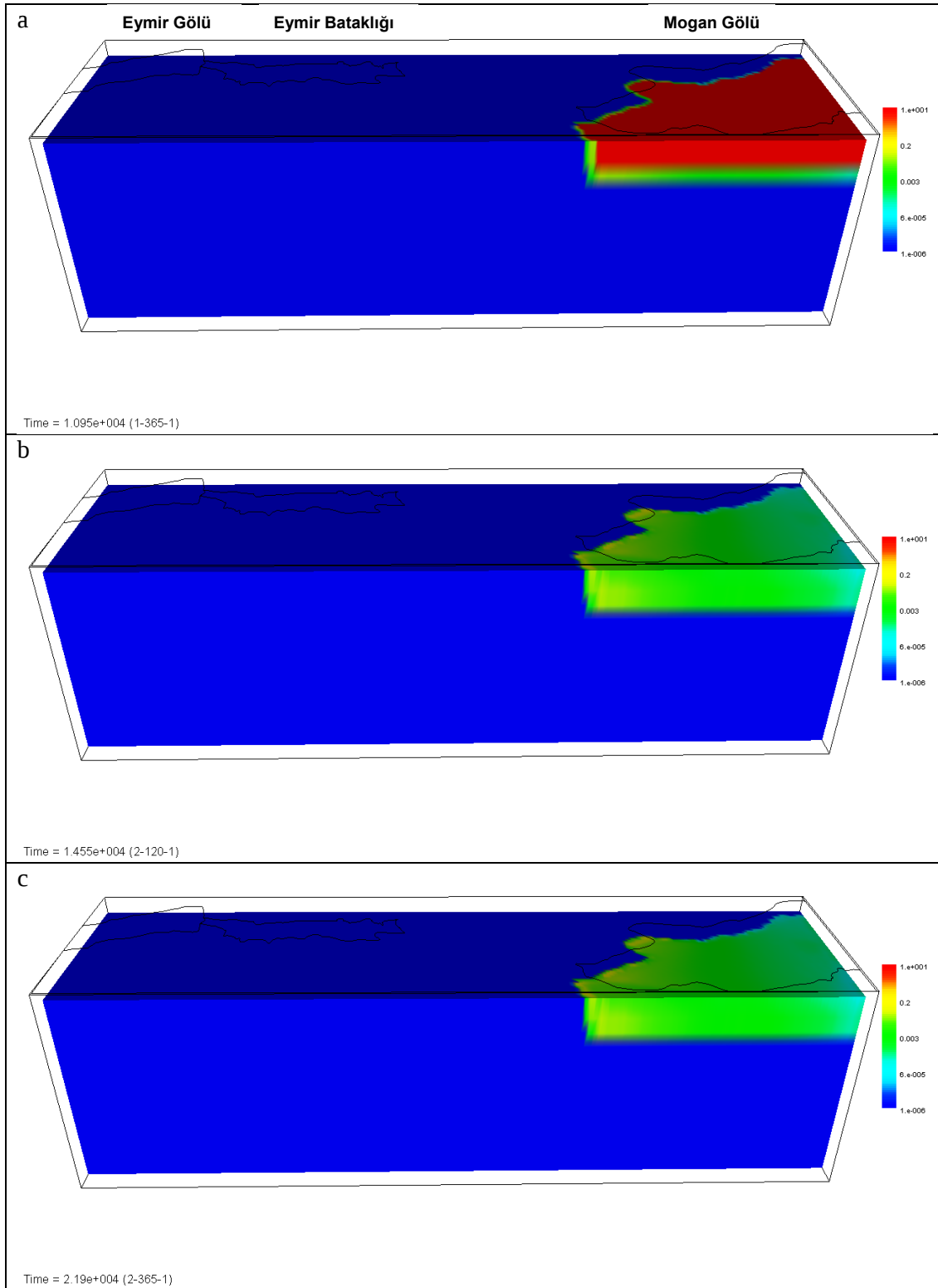
Şekil 5.13. Mogan Gölü ile Eymir Gölü arasında tutulan ve bırakılan Cu, Mn ve Zn kütleleri

Zn ve Mn taşınımı tutulma deneyleri sonucunda Langmuir izoterm modeli ile temsil edilirken Cu taşınımı doğrusal izoterm modeli ile modellenmiştir. Doğrusal izoterm modelinin asimptotik bir sınırı olmaması nedeniyle tutulan kütle miktarında bir doygunluk gerçekleşmemektedir. Gölden çıkan Cu doğrudan akifer malzemesi tarafından tutulmakta ve çok fazla bir ilerleme meydana gelmemektedir. Bu durum Şekil 5.14 ve 5.15’de sunulan çözelti halinde ve tutulan derişimlerin 3 boyutlu dağılımlarında kendini göstermektedir.

Yüksek oranda tutulmaya uğrayan Cu’ın Mogan Gölü’nden çıkan ve Eymir Gölü’ne ulaşan miktarları karşılaştırıldığında (Şekil 5.16), 30 yıl boyunca yüksek oranda Cu’ın akifere karıştığı, ancak tutulmaya uğradığı için Eymir Gölüne hareket etmediği görülmektedir. 30. yıl sonunda, Mogan Gölü’nde Cu derişimi 0 olduktan sonra dahi Cu hareketine devam etmekte ve Eymir Gölü’ne doğru oldukça yavaş bir biçimde hareket etmektedir. 60 yıl içerisinde Eymir Gölü’ne ulaşan Cu miktarı çok azdır (0.062 gr). Şekil 5.17’de ise model hücrelerinde arka arkaya iki zaman adımı arasında Cu derişiminin değışimi gösterilmiştir. Bu grafikte, tutulmaya bağlı olarak model hücrelerinde Cu’ın sürekli bir azalma gösterdiği, çözeltiden ayrılarak doğrusal tutulmaya uğradığı görülmektedir.

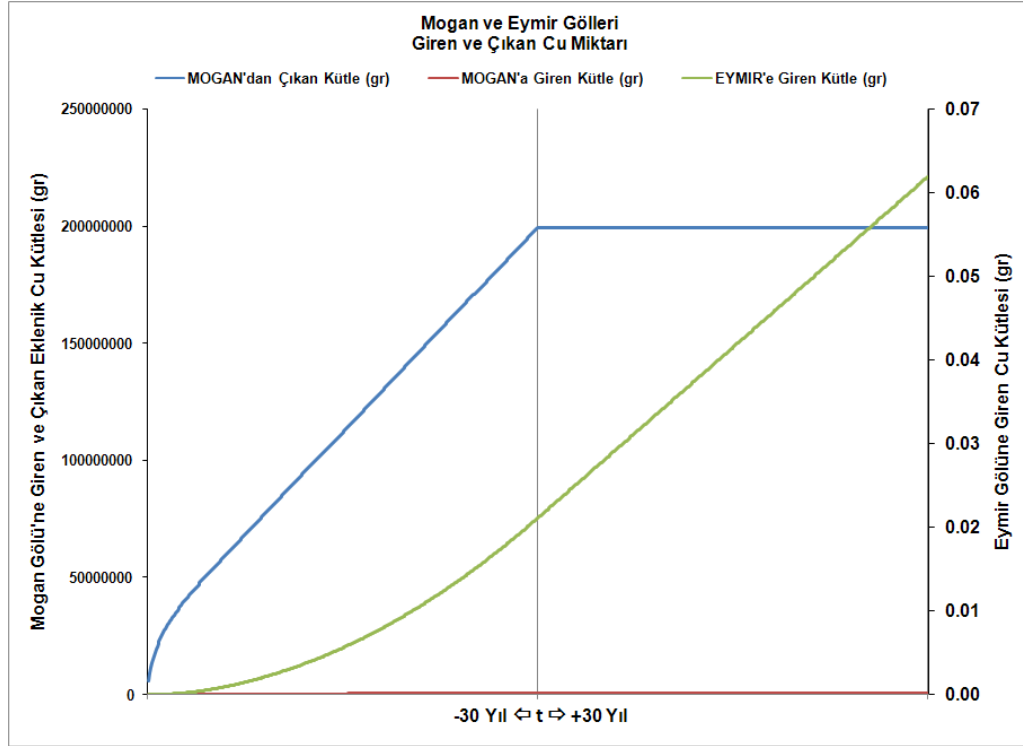


Şekil 5.14. Mogan ve Eymir Gölleri arasında doğrusal izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Cu'nun a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra çözelti derişim (gr/m^3) dağılımı (logaritmik ölçek)

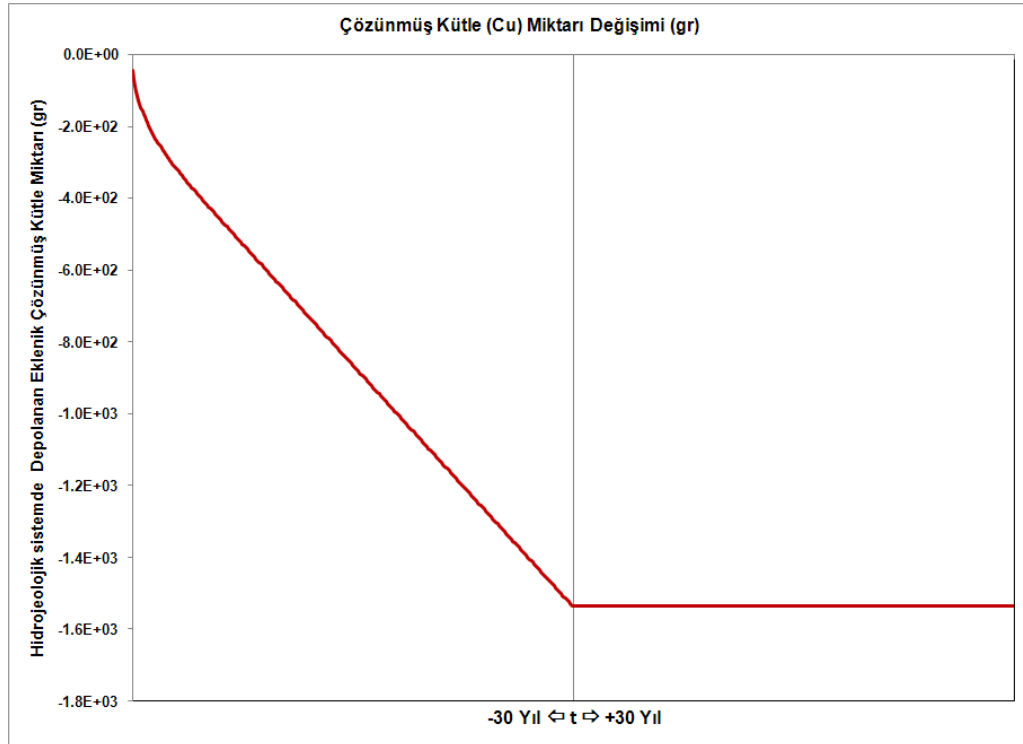


Şekil 5.15. Mogan ve Eymir gölleri arasında tutulan Cu derişiminin (gr) a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek)

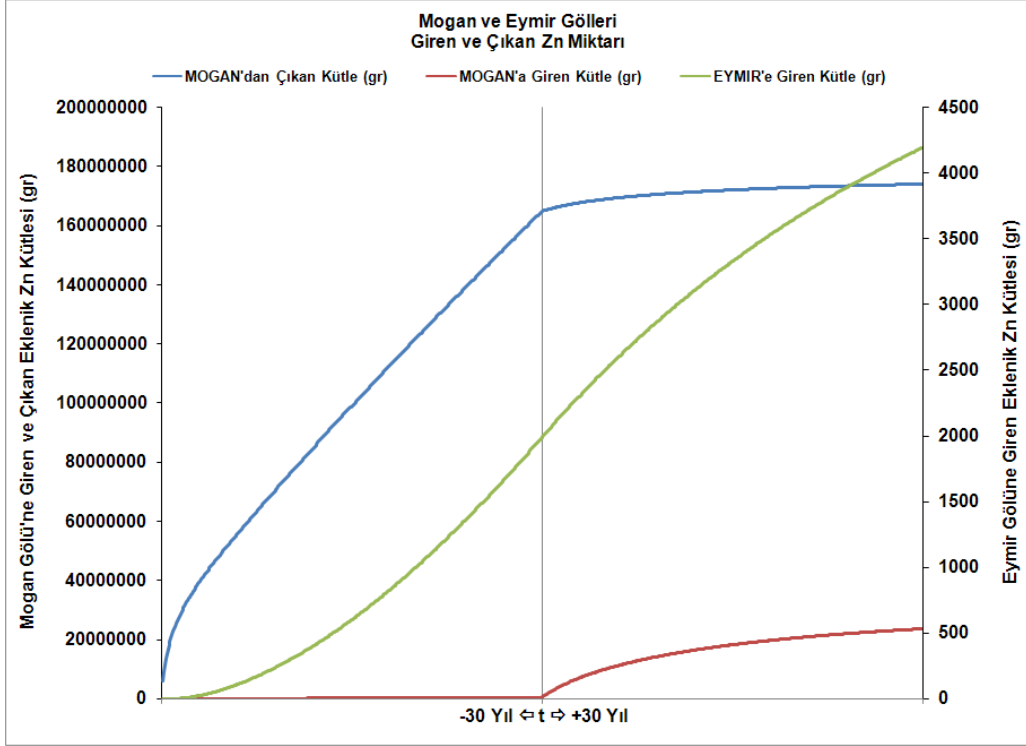
Şekil 5.18 ve 5.19'da ise Zn ve Mn için Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan kütle miktarları gösterilmiştir. Langmuir izoterm modelinin asimptotik bir limiti olması nedeniyle, tutulma doğrusal modelde olduğu gibi sonsuz bir süreç ile temsil edilmemekte, bu nedenle herhangi bir noktada tutulmanın üst sınırına ulaştıktan sonra kirletici çözelti halinde hareketine devam etmektedir. Her iki kirletici benzer davranış sergilemektedir. İzoterm modeli paylaşım katsayısı büyüklüğüne bağlı olarak Zn, Mn'dan daha fazla tutulmaya uğramakta ve Eymir Gölü'ne doğru daha yavaş hareket etmektedir. 30 yıl sonunda Mogan Gölü'nün temizlendiği koşullarda ise tutulan Zn ve Mn'nın tekrar çözeltiye geçerek Mogan Gölü'ne doğru hareket ettiği görülmektedir. 60. yıl sonunda Eymir Gölüne ulaşan Zn ve Mn miktarları Cu'a göre çok daha fazladır (~4200 gr). Ancak Mogan Gölünden akifere karışan kirletici kütlelerine oranı ise çok küçüktür (0.000024). Kirleticinin önemli miktarı akifer içerisinde katı faz üzerinde tutunmuş bulunmaktadır. Akifer sistemine temiz su verilmesi durumunda bu kirleticiler, soğrulma sürecine bağlı olarak çözelti haline geçecek ve Eymir Gölü'ne doğru hareketlerine devam edecektir. Zn ve Mn'nın akifer sistemi içerisinde çözelti halinde ve tutulan kirletici derişimlerinin 3 boyutlu dağılımları sırasıyla Şekil 5.20-23'de verilmiştir. Mn, Zn'ya göre daha hızlı ilerleme göstermektedir. Doğal akım koşullarına müdahale edilmediği takdirde, Eymir Gölünde yüksek derişim değerlerine ilk olarak Mn, daha sonra ise sırasıyla Zn ve Cu ulaşacaktır. Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru hidrolik eğimin artması durumunda ise kirleticiler Eymir Gölüne yine aynı sırayla, ancak daha hızlı bir biçimde ulaşacaktır.



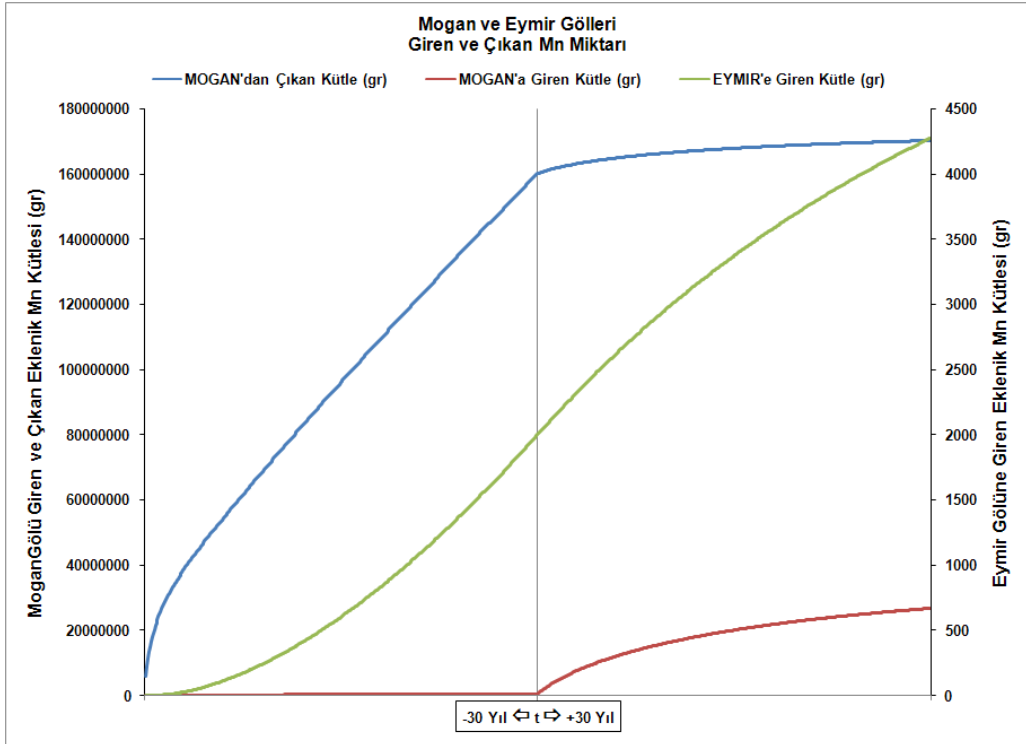
Şekil 5.16. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Cu kütle miktarının zamana göre değişimi



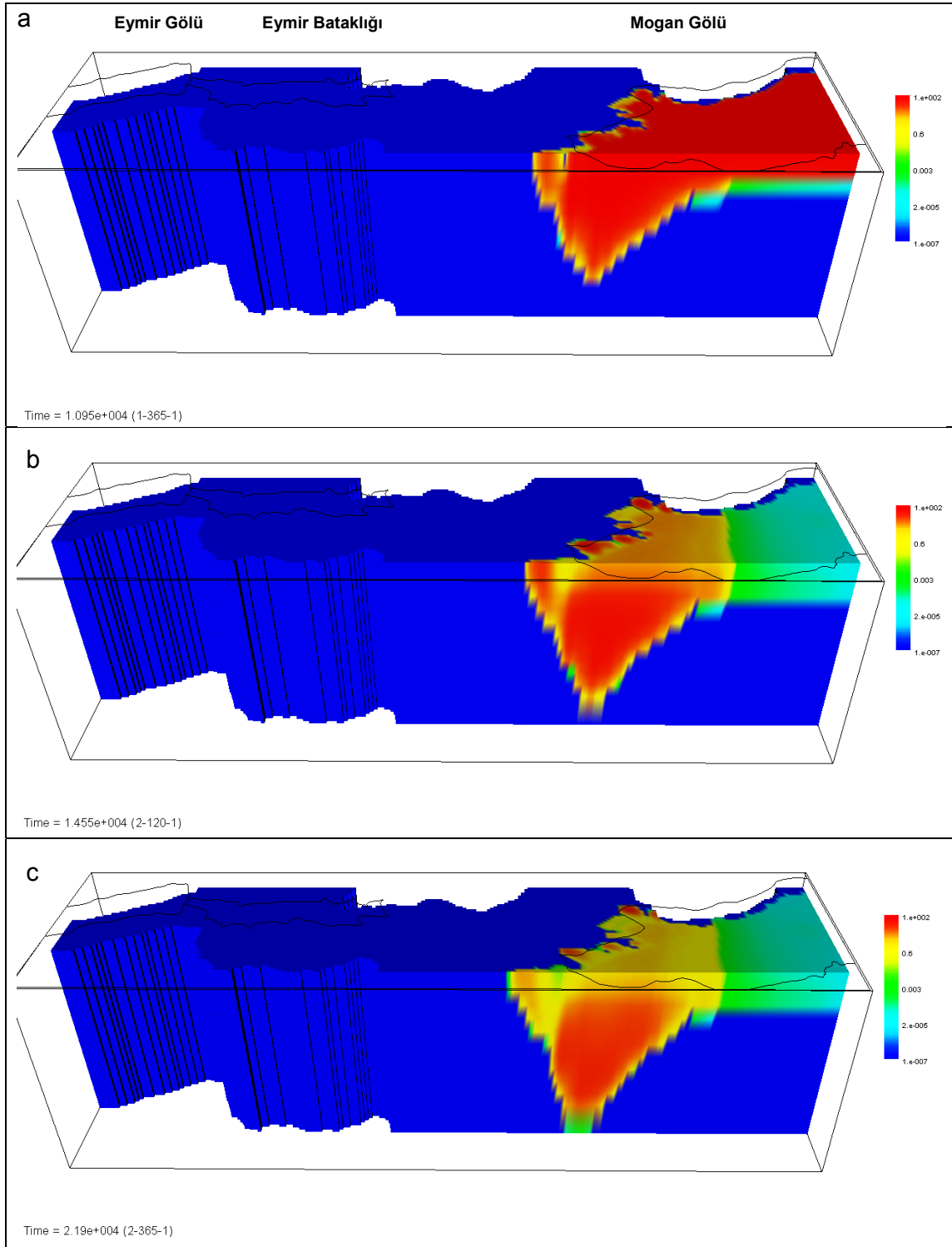
Şekil 5.17. Model hücrelerinde çözelti halinde bulunan Cu derişiminin zaman içerisinde azalımı



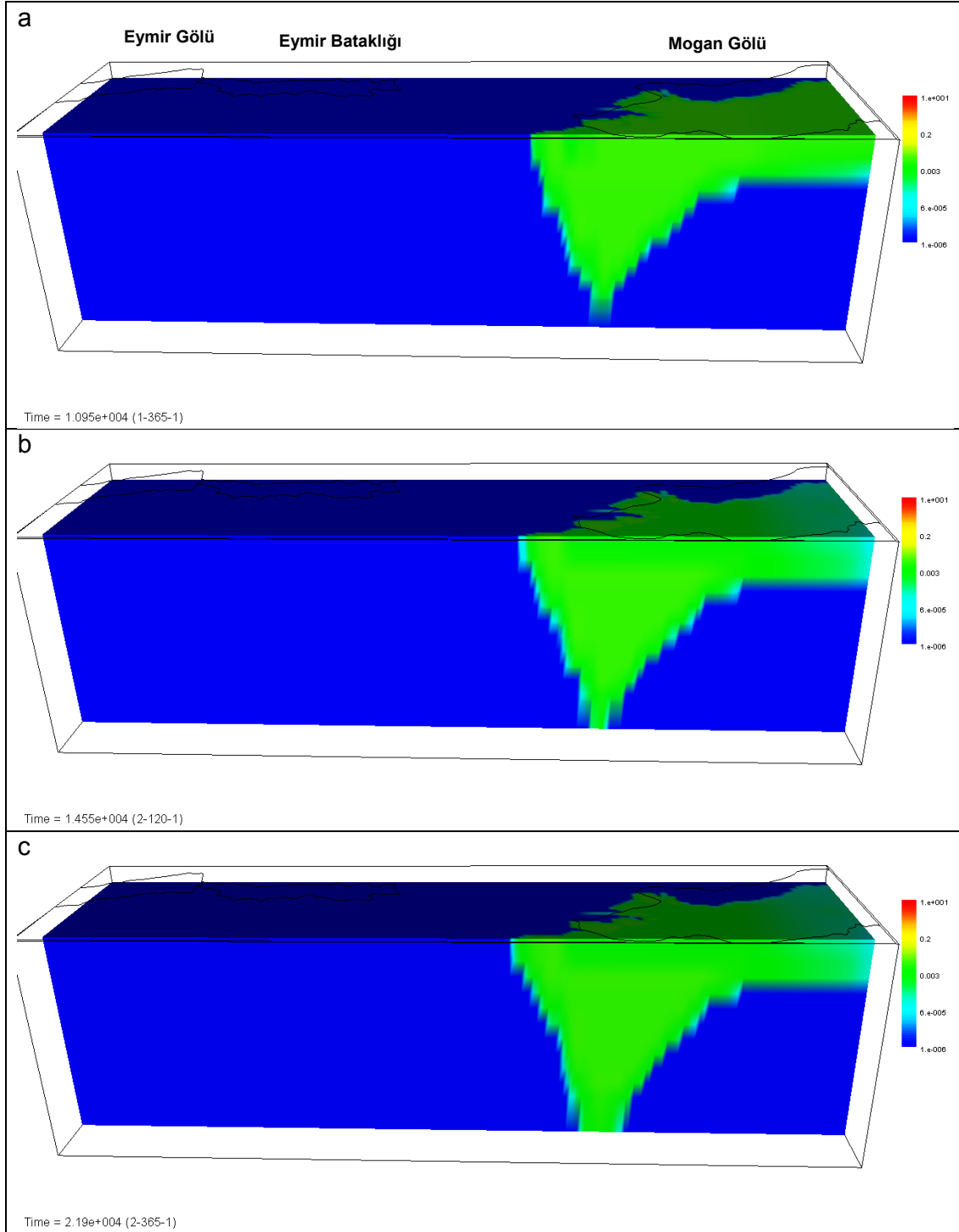
Şekil 5.18. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Zn kütle miktarının zamana göre değişimi



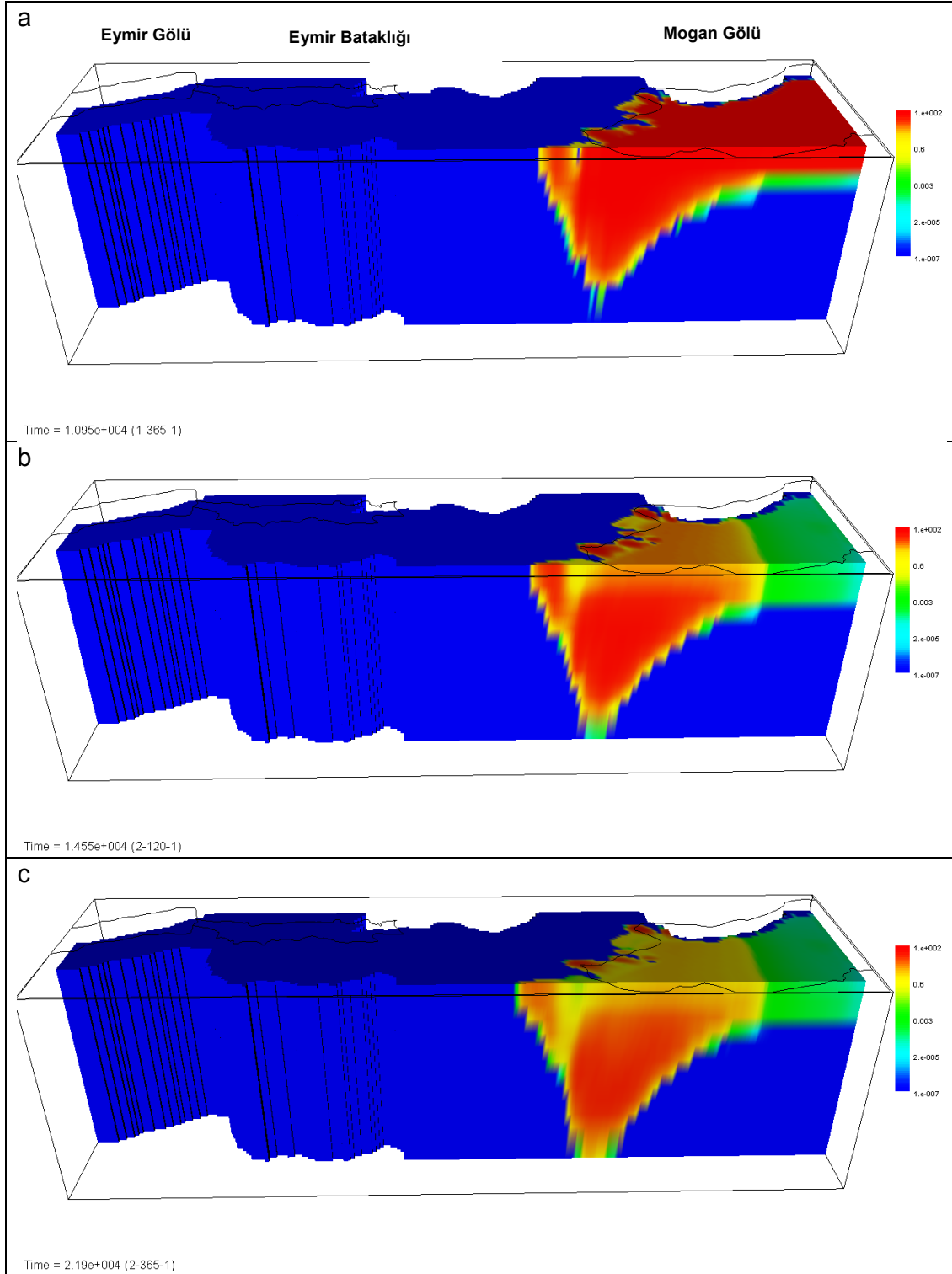
Şekil 5.19. Mogan Gölü'nden çıkan ve Eymir Gölü'ne ulaşan Mn kütle miktarının zamana göre değişimi



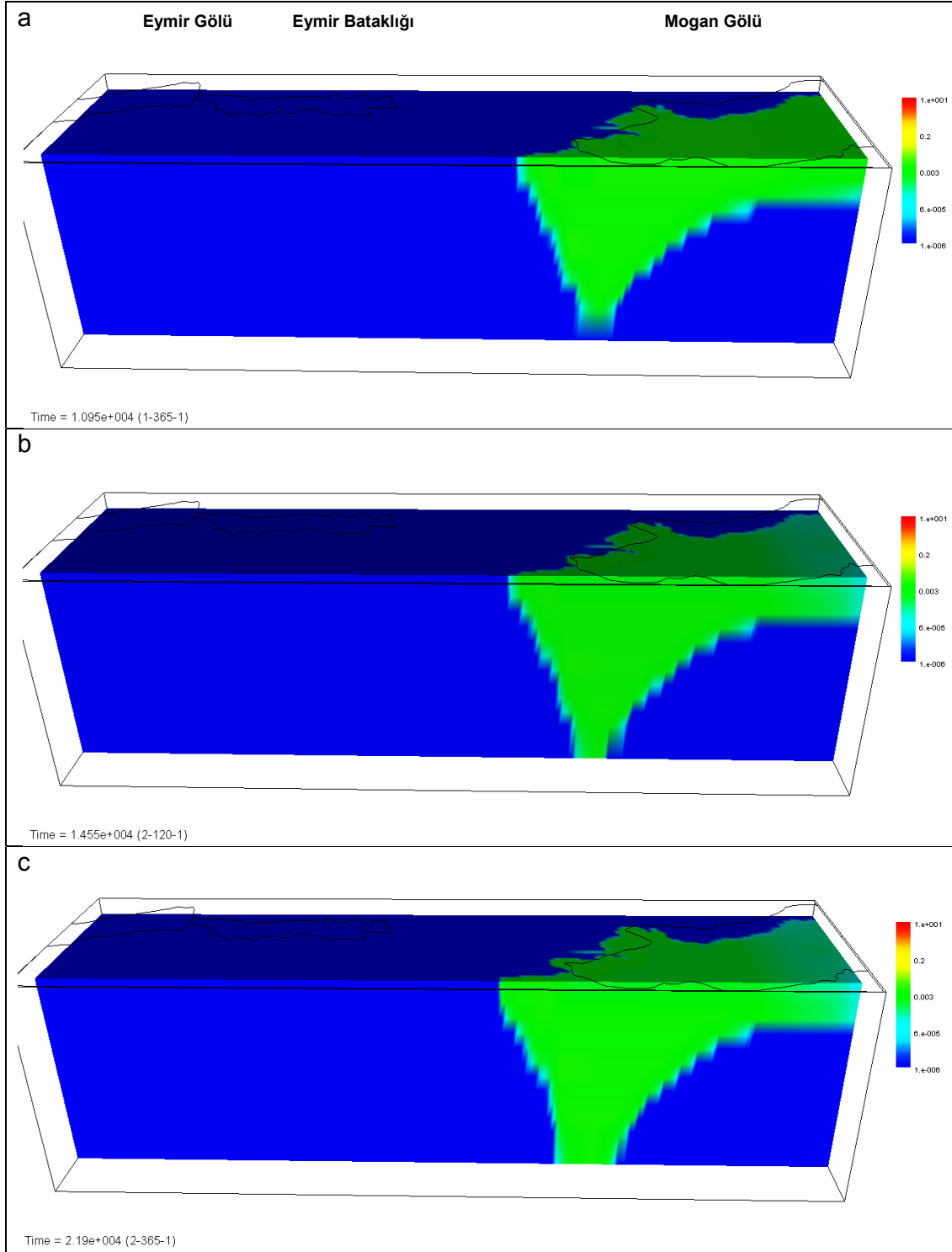
Şekil 5.20. Mogan ve Eymir Gölleri arasında Langmuir izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Zn'un a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra değişim dağılımı (logaritmik ölçek)



Şekil 5.21. Mogan ve Eymir Gölleri arasında tutulan Zn derişiminin a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek)



Şekil 5.22. Mogan ve Eymir Gölleri arasında Langmuir izoterm modeline göre tutulmaya uğrayan Mn'in a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra değişim dağılımı (logaritmik ölçek)



Şekil 5.23. Mogan ve Eymir Gölleri arasında tutulan Mn derişiminin a) 30 yıl, b) 40 yıl ve c) 60 yıl sonra dağılımı (logaritmik ölçek)

Şekil 5.21 ve 5.23’de gösterilen katı faz üzerinde tutulu halde bulunan Zn ve Mn kütleleri, tekrar çözeltiye geçtiğinde, akış aşağı ortamda, yeniden tutulmaya uğrayacaktır. Bu nedenle bu kirleticilerin Eymir Gölü’ne ulaşmaları oldukça uzun bir zaman alacaktır. Doğal akım koşullarının değişmeyeceği varsayımı ile, 30 yıl içerisinde bırakılan kütlenin %1’inin Eymir Gölü’ne ulaşması için gerekli zaman Mn için 1500 yıl olarak hesaplanmıştır.

Model çalışması kapsamında, göl ve akifer ortamında ölçülmüş derişim değerlerinin çok küçük olması nedeniyle ortaya çıkan sayısal duraylılık sorunlarından kaçınmak ve kirleticilerin hareketini birbirleri ile karşılaştırabilmek amacıyla başlangıç sınır koşulu olarak Mogan Gölü’nde her 3 kirletici için 100 gr/m^3 değeri atanmıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında hesaplanan, Eymir Gölü’ne ulaşan ve akifer sistemi içerisinde bulunan kirletici kütle miktarları, günümüzdeki gerçek değerleri yansıtmamakta, görelî olarak, 3 kirleticinin birbirlerine göre taşınım dinamiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yüzey ve yeraltısuyu temizleme ve kalite iyileştirme işlemlerinde, geçmiş dönemlerde sisteme girmiş kirleticilerin ortamda kalış sürelerinin çok uzun olduğunu dikkate almak gerekliliğı gösterilmeye çalışılmıştır.

6. SONUÇLAR

Gölbaşı ilçesinde gelişim gösteren endüstriyel tesislere ve yerleşim birimlerine ait atık sular arıtma işleminden geçirilmeksizin doğrudan göllere ve gölleri besleyen derelere boşaltılmaktadır. Bu durum özellikle Mogan Gölü başta olmak üzere diğer su kaynaklarında da hızlı bir şekilde kirlenmeye neden olmaktadır. Kirlenme, Mogan ve Eymir gölleri arasındaki hidrodinamik ilişkiden (Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru) dolayı göl suları ile sürekli etkileşim halinde olan hidrojeolojik sistemdeki katı matrisi ve yeraltısuyu kalitesini dolaylı olarak etkilemektedir. Bundan dolayı, tez çalışması kapsamında Mogan Gölü'nden kaynaklanan kirleticinin hidrojeolojik sistem içerisindeki yayılımı ve zamana bağlı olarak sistem içerisinde meydana gelen gelişimi matematiksel 3 boyutlu akım ve taşınım modelleri ile ortaya konulmuştur. Bu amaçla yapılmış çalışmalar dört farklı aşamada gerçekleştirilmiş olup bu çalışmaların sonuçları özetle aşağıda verilmiştir.

- İlk iki aşamada, Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelden oluşan hidrojeolojik yapıyı tanımlamak ve bu yapı içerisinde gerçekleşen yeraltısuyu akım ve kütle taşınım hareketini denetleyen parametreleri belirlemek amacı ile arazide sondaj, gözlem ve örnekleme, laboratuvar koşullarında ise deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda alüvyon çökelin kum, siltli killi tın, kumlu tın, tınlı kum, siltli tın ve kil olmak üzere 6 farklı hidrolik birimden (USDA (1972)) oluştuğu ve birimlerin sediman çökeliği sırasında etkin olan süreçlere (çökeltme ortamı, iklim vb.) bağlı olarak düşey ve yanal yönde değişen stratigrafik bir istiflenme gösterdiği belirlenmiştir. Bundan dolayı da hidrojeolojik sistem içerisinde gerçekleşen yeraltısuyu akım ve kütle taşınım hareketinin yönü ortamın heterojenitesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

- Arazide ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen gözlem ve verilerin değerlendirilmesi ile hidrojeolojik sistemde yeraltısuyu akım hareketinin çok düşük hızda ($i \leq 0.0012$) ve hidrolik iletkenliği düşük ($10^{-8} \leq K \leq 10^{-10}$ m/s) kumlu, siltli, killi birimler içerisinde Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. Hidrolik birimlere ait diğer jeohidrolojik parametrelerden gözeneklilik % 28-43, özgül verim % 0.9-17 ve özgül tutulma ise %11-41.5 arasında değişim gösterdiği hesaplanmıştır.

- Bu çalışmada yeraltısuyu akım model sonuçları iki göl arasında yer alan 17 adet gözlem kuyusunda 1999-2005 yılları arasında aylık bazda gözlenen hidrolik yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon sonucunda hesaplanan hidrolik yük değerlerinin gözlenen değerlere ± 1.1 m hata ile yaklaşılmış olsada ortalama fark değerinin 0.25 m olması gözlenen ve hesaplanan yük değerleri arasında iyi bir uyumun olduğunu göstermektedir.

- Model ile hesaplanan yük değerlerinin duraylılık katsayısı en büyük olan kum biriminin hidrolik iletkenlik (K6) ve depolama özellikleri (SY6, S6), kumlu tın biriminin hidrolik iletkenlik (K3) ve özgül verim (SY3) ile siltli tın (S4) biriminin depolama katsayısı değerlerine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bununla beraber hesaplanan yük değerlerinin göllere ait iletimlilik parametresine de (GHBM, GHBE) hassas olduğu gözlenmiştir.

- Yeraltısuyu akım modeli sonucunda Mogan Gölü'nden yeraltısuyuna olan boşalım saniyede yaklaşık 0.00084 m^3 ve Eymir Gölü'ne olan yeraltısuyu girdisi ise 0.00046 m^3 olarak belirlenmiştir. Bu değerler Özaydın (1997) tarafından yapılan çalışma sonuçlarında Mogan Gölü'nden yeraltısuyuna olan boşalım için ortalama 0.1615 m^3 ve Eymir Gölü'ne olan yeraltısuyu girdisi ise ortalama 0.1369 m^3 olarak hesaplanmıştır. Her iki çalışma sonuçları karşılaştırıldığında model sonucunda bulunan değerler inceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltısuyu kaynakları arasında meydana gelen beslenme sürecinin çok daha yavaş (1/200 ve 1/300) gerçekleştiğini göstermektedir.

- Su kaynaklarında mevcut su kalitesini belirlemek için yapılan fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda ağır metaller ve azotlu organik kirleticiler olmak üzere iki farklı kirletici grubu tesbit edilmiştir. Bu kirleticilerden ağır metaller (Cu, Zn, Ni, Mn ve Fe) örnekleme yapılan bütün lokasyonlarda değişik derişimlerde, azotlu organik kirleticiler (NO_3^- ve NH_4) ise bazı lokasyonlarda kesikli olarak gözlemlendiği belirlenmiştir.

- Taşınım parametrelerinin (dispersivite, K_d) belirlenmesi amacı ile laboratuvar koşullarında dispersivite ve tutulma (batch) deneyleri yapılmıştır. Tutulma deneyleri Cu, Zn ve Mn ağır metallerini içerecek şekilde çok bileşenli olarak gerçekleştirilmiştir. Kirletici hareketinin meydana geldiği hidrojeolojik

sistemde toprak ile kirletici arasında oluşan tutulma sürecinin hangi koşullarda yerel kimyasal denge (YKD) koşullarına ulaştığını belirlemek amacı ile tutulma deneyi yapılmıştır. Bu amaçla yapılmış olan deneyde tutulmanın en fazla meydana gelme olasılığı en yüksek toprak örneği olarak kil birimi, kirletici olarak da tepkimeye girme önceliği diğer ağır metallere ($Cu \geq Zn > Mn$) göre en fazla olan Cu ağır metali kullanılmıştır. Deney sonucunda yaklaşık 9 gün sonunda tutulma sürecinin YKD koşullarına ulaştığı gözlenmiştir.

- Hidrolik birimlere ait boyuna dispersivite değerlerinin belirlenmesi amacı ile yapılan kolon deneylerine ait sonuçlar Brigham (1974) ve Ogata et al. (1961) tarafından geliştirilmiş iki farklı eşitlik kullanılarak değerlendirilmiştir. α_L parametresi Brigham eşitliğinde maksimum ve minimum değerleri tınlı kum ve siltli tın, Ogata and Banks eşitliğinde ise kil ve siltli tın birimlerinde almakta olduğu belirlenmiştir

- Gözenekli ortamda kirleticilerin hareketi sırasında YKD koşullarında oluşan izoterm modellerini ve buna bağlı olarak tutulma parametrelerini (K_d ve R_f katsayılarını) belirleyebilmek amacı ile çok bileşenli tutulma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda YKD koşullarında toprak örnekleri ile Cu ağır metali arasında doğrusal, Zn ve Mn ağır metallerinde ise genelde doğrusal olmayan izoterm modelleri (Langmuir ve Freundlich) gözlenmiştir.

- Tutulma deneyleri sonucunda her bir metal için hesaplanan K_d parametresine ait ortalama değerlerin Cu (23654.2 lt/kg) > Zn (9732.4) > Mn (5768.94) şeklinde bir sıralama gösterdiği belirlenmiştir. Her bir toprak örneğinde ağır metaller için hesaplanan K_d parametresinin almış olduğu değerler bakıldığında ise;

- Cu ağır metali için K_d değerinin Kil > Siltli killi kum > Kumlu tın > siltli tın > tınlı kum > kum,

- Zn ağır metali için kil > kumlu tın > tınlı kum $\geq$ kum > siltli killi tın > siltli tın,

- Mn ağır metali için ise kil > kum > kumlu tın > siltli tın > siltli killi tın > tınlı kum şeklinde bir sıralama gözlenmiştir.

- İnceleme alanı oluşturan hidrojeolojik sistemdeki kirlenmenin Mogan Gölü ile yeraltısuyu arasındaki hidrodinamik ilişkiye bağlı olarak ortaya çıktığı bilinmektedir. Bundan dolayı kütle taşınım modelinde $t = 0$ anında kirletici hareketinin gerçekleştiği katı matris ve yeraltısuyunda kirlenmeye neden olan kirleticinin bulunmadığı ($C_i(x, t=0)=0$) kabul edilmiştir.

- İnceleme alanında meydana gelen kütle taşınım süresinin benzeştirilmesi aşamasında yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarında değişik zamanlarda ölçülen kimyasal değerler kullanılmamıştır. Bu değerler yerine kütle taşınım modelinde kirletici kaynak durumunda yer alan Mogan Gölü'nde kirletici derişimleri sabit (100 gr/m^3) olarak kabul edilmiş ve 60 yıllık bir zaman dilimi içerisinde hidrojeolojik sistemde neden olabileceği kirlenmenin konuma göre etkisi kestirilmiştir. Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru gerçekleşen kirletici taşınımında, tutulma süreçlerinin rolünü yansıtabilmek üzere model ilk önce tutulma olmaksızın iki farklı sınır koşullarında çalıştırılmıştır.

- Hidrojeolojik sistem ilk önce 30 yıl boyunca kirlenmiş ve daha sonra aşamada, kirletici kaynak konumundaki Mogan Göl suyunun tamamen temizlendiği varsayılarak hidrojeolojik sistemdeki kirleticinin 30 yıl boyunca hareket süreci modellenmiştir. Modelleme sonucunda hidrojeolojik sistemde kirletici hareketinin 3 boyutlu olarak gerçekleştiği ve sistemde herhangi bir tutulma süreci olmaksızın 30 yıl boyunca kirlenilen hidrojeolojik sistemin tekrar 30 yıl boyunca temizlenmesinin mümkün olmadığı görülmüştür. Buna ek olarak ikinci 30 yıllık dönemin başında kirlenmiş olan hidrojeolojik sistemden Mogan Gölü'ne difuzyondan dolayı bir miktar ($\sim 270 \text{ gr}$) kirletici hareketi olduğu ve göl suyuna karışan bu kütle tekrar akış aşağı bölgede hidrojeolojik sisteme geri döndüğü belirlenmiştir.

- Cu, Zn ve Mn metalleri için katı matriste tutulmanın gerçekleştiği varsayılarak model, Zn ve Mn taşınımı için Langmuir izoterm modeli ve Cu taşınımı için ise doğrusal izoterm modeli kullanılarak tekrar çalıştırılmıştır. Doğrusal izoterm modelinin asimtotik bir sınırı olmaması nedeniyle tutulan kütle miktarında bir doygunluk gerçekleşmemektedir. Bundan dolayıda gölden çıkan Cu doğrudan katı matris tarafından tutulmakta ve çok fazla bir ilerleme meydana gelmemektedir. Yüksek oranda tutulmaya uğrayan Cu'nın Mogan Gölü'nden çıkan

ve Eymir Gölü'ne ulaşan miktarları karşılaştırıldığında, 30 yıl boyunca yüksek oranda Cu'nın akifere karıştığı, ancak tutulmaya uğradığı için Eymir Gölü'ne hareket etmediği görülmüştür. 30. yıl sonunda, Mogan Gölü'nde Cu derişimi 0 olduktan sonra Cu Eymir Gölü'ne doğru oldukça yavaş bir biçimde hareket etmiştir. 60 yıl içerisinde katı matris tarafından yaklaşık 2×10^8 gr Cu tutulmuş, temiz yeraltısuyu karışımına bağlı olarak 630000 gr malzeme soğrulmuş ve bu zaman dilimi boyunca Eymir Gölü'ne ulaşan Cu miktarı ise yaklaşık 0.062 gr olarak hesaplanmıştır.

- Zn ve Mn metallerinde gözlenen Langmuir izoterm modelinin asiptotik bir limiti olması nedeniyle, tutulma doğrusal modelde olduğu gibi sonsuz bir süreç ile temsil edilmemekte, bu nedenle herhangi bir noktada tutulmanın üst sınırına ulaştıktan sonra kirletici çözelti halinde hareketine devam etmektedir. İzoterm modeli K_d 'nin büyüklüğüne bağlı olarak Zn, Mn'dan daha fazla tutulmaya uğramakta ve Eymir Gölü'ne doğru daha yavaş hareket etmektedir. 30 yıl sonunda Mogan Gölü'nün temizlendiği koşullarda ise tutulan Zn ve Mn'nın tekrar çözeltiye geçerek Mogan Gölü'ne doğru hareket ettiği görülmektedir. 60 yıl sonunda Eymir Gölüne ulaşan Zn ve Mn miktarları Cu'a göre çok daha fazla olduğu hesaplanmıştır (~4200 gr). Hidrojeolojik sistemine temiz su verilmesi durumunda bu kirleticiler, soğrulma sürecine bağlı olarak çözelti haline geçmekte ve Eymir Gölü'ne doğru hareketlerine devam etmektedirler ($V_{Mn} > V_{Zn}$). Bu durumda doğal akım koşullarına müdahale edilmediği takdirde, Eymir Gölünde yüksek derişim değerlerine ilk olarak Mn, daha sonra ise sırasıyla Zn ve Cu ulaşmaktadır. Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğru hidrolik eğimin artması durumunda ise kirleticiler Eymir Gölü'ne yine aynı sırayla, ancak daha hızlı bir biçimde hareket edeceklerdir.

7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Mogan Gölü'nden kaynaklanan kirletici unsurların alüvyon çökelden oluşan hidrojeolojik sistem içerisindeki taşınımı sırasında etken olan fiziksel veya kimyasal süreçlere bağlı olarak katı matris ve yeraltısuyunda neden olduğu kirlenmenin boyutu ve zaman bağlı olarak gelişimi matematiksel üç boyutlu akım ve taşınım modeller aracılığıyla hesaplanmıştır. Matematiksel modelin dayandırıldığı kavramsal model, hidrojeolojik yapının geometrisi, hidroliği, beslenim-boşalım özellikleri, sınır koşulları ve taşınım özelliklerine bağlı bir takım varsayımları içermektedir. Bu varsayımlar, arazide yapılan sondaj, gözlem ve ölçüm çalışmalarına ve bu çalışmaların büro ortamında değişik yöntemler kullanarak değerlendirilmesi ile elde edilen verilere dayalı hidrojeolojik yorumlamalar ışığında geliştirilmiştir. Matematiksel model ise inceleme alanında meydana gelen süreçleri üç boyutlu olarak benzeştiren kavramsal modelin bağımlı değişkenlerini zamanın ve konumun bir fonksiyonu olarak belirlemektedir. Matematiksel modelin sistemi ne ölçüde yansıttığı, bağımlı değişkenlerin zaman ve konum içindeki gözlemleri ile model tarafından tahmin edilen verilerin uyumuna bağlıdır.

Model çalışması kapsamında, göl ve akifer ortamında ölçülmüş derişim değerlerinin çok küçük olması nedeniyle ortaya çıkan sayısal duraylılık sorunlarından kaçınmak ve kirleticilerin hareketini birbirleri ile karşılaştırabilmek amacıyla başlangıç sınır koşulu olarak Mogan Gölü'nde her 3 kirletici için 100 gr/m³ değeri atanmıştır. Bu nedenle model sonucunda hesaplanan Eymir Gölü'ne ulaşan ve hidrojeolojik sistem içerisinde bulunan kirletici kütle miktarları, günümüzdeki gerçek değerleri yansıtmamakta, görelilik olarak, 3 kirleticinin birbirlerine göre taşınım dinamiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yüzey ve yeraltısuyu temizleme ve kalite iyileştirme işlemlerinde, geçmiş dönemlerde sisteme girmiş kirleticilerin ortamda kalış sürelerinin çok uzun olduğunu dikkate almak gerekliliği gösterilmeye çalışılmıştır.

Taşınım modellerinde kirleticilerin gözenekli ortamdaki hareketleri sırasında derişimlerinde meydana gelen değişim sürecinde gerekli hassasiyeti yakalamak için taşınım parametrelerin yerinde arazi koşullarında yapılan deneyler sonucunda belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, tez çalışması kapsamında belirlenen ve

ölçeğe bağılı olarak artış gösteren dispersivite katsayısı laboratuvar koşullarında yapılan deneyler sonucunda 0.024-1.13 m arasında değişen değerler almıştır. Bundan dolayı da bu parametreye ait değerlerin küçük olması kirleticilerin sistem içerisindeki taşınımı sırasında meydana gelen sacılma hareketinin küçük ölçeklerde gerçekleşmesine neden olmuştur.

Hidrojeolojik sistemde kütle taşınımı sırasında katı matriks tarafından tutulan kirleticinin hangi şartlarda katı fazdan uzaklaşarak tekrar sıvı faza geçme sürecinin belirlenebilmesi için kirletici maddeye ait soğrulma (desorption) deneyleri yapılması gerekmektedir. Böylece hidrolojik sistemde kirlenmeye maruz kalan alanın konuma ve zamana bağılı yenilenme (remediation) süreci tanımlanabilir.

Sonuç olarak geçmiş dönemlerde sisteme girmiş ve tutulmaya uğrayan kirleticilerin ortamda kalış süreleri, yeraltısuyuna göre çok daha fazla, hızları ise çok daha düşüktür. Bu nedenle yeraltısuyu sistemlerinde, kirletici hareketi ve kirleticilerden arındırma çalışmalarında tutulma süreçlerini dikkate almak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y., 1984, Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, 20, 31-46.
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., Yaşar, T., 1997, Türkiye Jeoloji Haritaları, Ankara-F25 Paftası, Jeoloji Etütler Dairesi, MTA, Ankara, 31s.
- Altınbilek, D., 1995, Gölbaşı Mogan- Eymir Gölleri için Su Kaynakları ve Çevre Yönetim Projesi, Ankara Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Cilt(I), ODTÜ, Ankara, 680s.
- Alumaa, P., Steinnes, E., Kirso, U., and Petersell, V., 2001, Heavy metal sorption by different estonian soil types at low equilibrium solution concentration, Proc. Estonian Acad. Sci. Chem., 50, 2, 104–115.
- Ambrose, R. B., 1999, Partion Coefficient for Metals in Surface, Water, Soil, and Waste, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste Washington, DC 20460, 74p.
- Andersen, M. K., Raulund-Rasmussen, K., Strobel, B. W. and Hansen , H. C. B., 2002, Adsorption of Cadmium, Copper, Nickel, and Zinc to a poly (tetrafluorethene) porous soil solution sampler, J. Environ. Qual., 31,168-175.
- Arıgün, Z. ve Süzük, H., 1995, Eymir ve Mogan gölleri çevresinin hidrojeoloji incelemesi, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Der., c.10, s.1, 20-31.
- ASTM (American Society of Testing and Materials), 1987, 24-hour batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments, In Annual Book of ASTM Standards, Water and Environmental Technology, 11, 04, pp. 163-167.
- ASTM, 1997, Annual Book of ASTM Standarts, Section 4, Construction, Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420-D4914, Vice-President Publications, USA, 969p.
- Atilla, Ö. A., 2002, Afyon Ovası'nın Yeraltısuyu Kütle Taşınımı Modeli, H.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Beytepe, Ankara, 78 s.
- Baek, D.S., Kim, S.B. and Kim, D.J., 2003, Irreversible sorption of benzene in sandy aquifer materials, Hydro. Process, 17, 1239-1251.
- Bagchi, A., 1990, Design, Construction, and Monitoring of Sanitary Landfill, NewYork, John Wiley & Sons.

- Bahr, M. J. and Rubin, J., 1987, Direct comparison of kinetic and local equilibrium formulations for solute transport affected by surface reactions, *Water Resources Res.*, 23, 3, 438-452.
- Bear, J., 1972, *Dynamics of Fluids in Porous Media*, Am. Elsevier Publishing Co., New York, 764 pp.
- Bredehoeft, J.D., Pinder, G.F., 1973, Mass Transport in Flowing Groundwater, *Water Resources Research*, 9, 194-210.
- Chang, C.M., Wang, M.K., Chang, T.W., Lin, C. and Chen, Y.R., 2001, Transport modeling of Copper and Cadmium with linear and nonlinear retardation factors, *Chemosphere*, 43, 1133-1139.
- Change, T.W., Chen, Y.R., Wang, M.K., Lai, C.M., 1997, Fate of heavy metals in three taiwan agricultural paddy soils, *J. Chin. Agric. Eng.*, 43, 61-85.
- Chen, W. and Wagenet, R. J., 1997, Description of atrazine transport in soil with heterogeneous non-equilibrium sorption, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 360-371.
- Chiou, C.T., Peters, L.J., Freed, V.H., 1981, Soil-Water Equilibrium for Nonionic, Organic Compounds, *Science*, 213, 8, 683-684.
- Cho, C.M., 1971, Convective Transport of Ammonium with Nitrification in Soil, *Can. J. Soil Sci.*, 51, 339-350.
- Christensen, T.H., Lehmann, N., Jackson, T., Holm, P.E., 1996, Cadmium and nickel distribution coefficients for sandy aquifer materials, *J. Contam. Hydrol.*, 24, 75-84.
- Clement, T.P., Sun, Y., Hooker, B.S., Petersen, J.N., 1998, Modeling multispecies reactive transport in groundwater, *Groundwater Monitoring and Remediation* 18 (2), 79-92.
- Coats, K.H., and Smith, B.D., 1964, Dead- end pore volume and dispersion in porous media, *Soc. Pet. Eng. J.*, 4, 73-84.
- Das, B.S., Kluitenberg, G.J., 1996, Moment analysis to estimate degradation rate constants from leaching experiments, *Soil Sci. Am. J.*, 60, 1724-1731.
- Delolmea, C., Labita, C.H., Spadinib, L., and Gaudetc, J.P., 2004, Experimental study and modeling of the transfer of Zinc in a low reactive sand column in the presence of Acetate, *Journal of Contaminant Hydrology*, 70, 205-224.
- Echerria, J.C., Mazkaran, M.C., Garrido, J.J., 1998, Competitive sorption of heavy metal by soils. Isotherms and fractional factorial experiments, *Environmental Pollution*, 101, 275-284.
- EPA, 1991, *Site Characterization for Subsurface Remediation*, EPA/625/4-91/026, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

- EPA 402-R-99-004A, 1999, Understanding Variation in Partition Coefficient, K_d Values, Volume I: The K_d Model, Methods of Measurement, and Application of Chemical Reaction Codes, Office of Environmental Restoration, U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, 212p.
- Erdem, M. ve Özverdi, A., 2004, Lead adsorption from aqueous solution onto siderite, *Separation and Purification Technology*, 42, 259–264.
- Fetter, C. W., 1980, *Applied Hydrogeology*, Merrill, Columbus, USA.
- Fetter, C.W., 1993, *Contaminant Hydrogeology*, Macmillan Publishing Company, New York, NY.
- Forbes, E. A., Posner, A. M., and Quirk, J.P., 1974, The specific adsorption of inorganic Hg(II) species and Co(II) complex ions on goethite, *J. Colloid Interface Sci.*, 49, 403–409.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ., 604p.
- Freundlich, H., 1926, *Colloid and Capillary Chemistry*, Methuen, London, England.
- Fried, J. J. and Combarous, J. D., 1971, Dispersion in porous media, *Advances in Hydroscience*, Academic Press, New York, 7, 169–182.
- Gaudet, J.P., Je'gat, H., Vachaud, G., and Wierenga, P.J., 1977, Solute transfer, with exchange between mobile and stagnant water, through unsaturated sand, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 665–671.
- Gelhar, L.W., and Collins, M.A., 1971, General analysis of longitudinal dispersion in nonuniform flow, *Water Resources Research*, 7, 6, 1511–1521.
- Gelhar, L. W., Mantoglou, A., Welty, C. and Rehfeldt, K. R., 1985, A review of Field-scale Physical Solute Transport Processes in Saturated and Unsaturated Porous Media, EPRI Report, EA-4190, Electric power Research Institute, Palo Alto, CA.
- Goode, D.J., 1999, Age, double porosity, and simple reaction modifications for the MOC3D ground-water transport model: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4041, 34p.
- Grove, D.B., 1976, Ion exchange reactions important in groundwater quality models. In: *Advances in Groundwater Hydrology*, Am. Water Res. Assoc., 409–436.
- Gürel, N., Ünsal, Y., Yurdakul, E. ve Yüksel, M., 1980, Ankara Mogan ve Emir Gölü Çevresinin Arazi Kullanım Potansiyel Haritası, Derleme no:6836, MTA.
- Harbaugh, A. W., A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water

Model—User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey, Open- File Report 00-92.

Hassett, J.J., Banwart, W.L., 1989, The sorption of nonpolar organics by soils and sediments, Soil Science, Society of America SSSA 22, 31–44.

Hill, M.C., 1992, A computer program (MODFLOWP) for Estimating Parameters Of A Transient, Three-Dimensional, Ground-Water Flow Model Using Nonlinear Regression: U.S. Geological Survey Open-File Report 91-484, 358p.

Hill, M.C., 1998, Methods and Guidelines for Effective Model Calibration, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4005, 90p.

Hill, M.C., Banta, E.R., Harbaugh, A.W. and Anderman, E.R., 2000, MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – User Guide to the Observation, Sensitivity, and Parameter-Estimation Processes and three Postprocessing Programs: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-184, 209p.

Hornberger, G.Z., and Konikow, L.F., 1998, Addition of MOC3D solute-transport capability to the U.S. Geological Survey MODFLOW-96 graphical-user interface using Argus Open Numerical Environments: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-188, 30p.

Jacobsen, O.H., Leij, F.J., van Genuchten, M.Th., 1992, Parameter Determination for Chloride and Tritium Transport in Undisturbed Lysimeters during Steady Flow, Nord. Hydrol., 23, 89-104.

Jaynes, D.B., Logsdon, S.D. and Horton, R., 1995, Field Method for Measuring Mobile–immobile Water Content and Solute Transfer Rate Coefficient, Soil Sci. Soc. Am. J., 59, 352–356.

Jost, W., 1952, Diffusion in Solids, Liquids, Gasses, Academic Press, New York.

Kalkan, İ., Şaroğlu, F., Özmutaf, M.Y., Atiker, M., Yıldırım, N., Süzük, H. ve Tanıl, A., 1992, Eymir ve Mogan Göllerinin Korunmasına Yönelik Jeoloji-Hidrojeoloji İncelemeleri, MTA, Derleme No:9477.

Kaoser, S., 2003, Concept of Copper Mobility and Compatibility with Lead and Cadmium in landfill liners, A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in Partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Department of BioResource Engineering Macdonald Campus of McGill University Montreal, Quebec, Canada, p.211.

Karickhoff, S. W., Brown, D. S., and Scott, T. A., 1979, Sorption of Hydrophobic Pollutants on Natural Sediments, Water Research, 13, 231-248.

Kim, C.G., Clarke, W.P., and Lockington, D., 2000, determination of retardation coefficients of Sulfolane and Thiolane on soils by Kow–Koc and solubility

- parameter, Batch and Column Experiments, *Environmental Geology*, 39 (7), 741-749.
- Kipp, K.L., 1986, HST3D, A Computer Code for Simulation of Heat And Solute Transport in Three-Dimensional Groundwater Flow Systems, U.S.G.S. Water Resources Investigations Report, 86-4095.
- Kipp Jr., K.L., 1997, Guide to the Revised Heat and Solute Transport Simulator: HST3D Version 2. Water Resources Investigations Report 97-4157. U.S. Geological Survey, Colorado, USA.
- Kolditz, O., Ratke, R., Diersch, H.-J., Zielke, W., 1998, Coupled groundwater flow and transport: 1. Verification of variable density flow and transport models, *Advances in Water Resources*, 21,1, 27–46.
- Konikow, L.F., Grove, D.B., 1977, Derivation of equations describing solute transport in ground water, U.S. Geol. Survey Water-Res. Inv., 77-19, 30p.
- Konikow, L. F., 1977, Modeling Chloride Movement in the Alluvial Aquifer at the Rocky Mountain Arsenal, Colorado, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2044.
- Konikow, L.F. and Thompson, D.W., 1984, Groundwater Contamination and Aquifer Reclamation at the Rocky Mountain Arsenal Colorado, In: *Groundwater Contamination NRC*, 179p.
- Kookana, R.S., Tiller, K.G., 1994, Ionic-streng and pH effects on the sorption of Cadmium and the surface charge of soils, *Euro. J. Soil Sci.* 45, 419-429.
- Küçük, İ. ve Angı, A.E., 2005, Mogan ve Eymir Gölleri Havzasının Hidrometeorolojik Özellikleri, *Elektrik ELE Genel Müdürlüğü*, 161s.
- Langer, V.W., Novakowski, K.S. and Woodbury, A.D., 1999, Sorption of Trichloroethene onto Stylolites, *Journal of Contaminant Hydrology*, 40, 1-23.
- Langmuir, I., 1918, The Adsorption of gases on plane surfaces of Glass, Mica, and Platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 40, 1361-1403.
- Lapidus, L. and Amundson, N.R., 1952, Mathematics of Adsorption in Beds: VI. The effect of longitudinal diffusion in Lion Exchange and Chromatographic Columns, *J. Phys. Chem.*, 56, 984–988.
- Lee, J., Jaynes, D. B. and Horton, R., 2000, Evaluation of a simple method for estimating solute transport parameters: Laboratory studies, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 492–498.
- Liedl, R. and Grathwohl, P., 2003, Modeling of Sorption and Desorption Hysteresis Phenonema, *Eberhard-Karls - Universität Tübingen Germany*, p. 1-64.
- Lin, H.C., Richards, D.R., Yeh, G.T., Cheng, J.R., Cheng, H.P., Jones, N.L., 1996, FEMWATER: A Three-dimensional Finite Element Computer Model for

Simulating Density-dependent Flow and Transport, Technical report HL-96, US Army Engineer Waterways Experiment Station, USA.

- Liu, C., Szecsody, J.E., Zachara, J.M. and Ball, W.P., 2000, Use of the generalized integral transform method for solving equations of solute transport in porous media, *Advances in Water Resources*, 23, 483-492.
- Maloszewski, P., Benischke, R., Harum, T., Zojer, H., 1994. Estimation of Solute Transport Parameters in Heterogen Groundwater System of a Karstic Aquifer using Artificial Tracer Experiments, *Water Down Under 94*, vol. 2. The Institute of Engineers, Australia, Barton, ACT, pp. 105– 111. part A.
- Mayer, K.U., 1999, A Numerical Model for Multicomponent ReactiveTransport in Variably Saturated Porous Media, Ph.D. Thesis, Department of Earth Sciences, University of Waterloo, Canada.
- McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., 1988, A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Chapter A1.
- McElwee, C.D., and Yukler, M.A., 1978, Sensitivity of groundwater models with respect to variations in transmissivity and storage, *Water Resources Research*, 14, 451-459.
- Mcelwee, D.C., and Yukler, M.A., 1982, Sensitivity analysis and the ground water inverse problem, *Ground Water*, 20 (6), 312-322.
- McGinley, P.M., Katz, L.E., Weber Jr., W.J., 1996, Competitive sorption and displacement of hydrophobic organic contaminants in saturated subsurface soil systems, *Water Resource Res.*, 32, 3571–3577.
- Ogata, A., and Banks, R. B., 1961, A Solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media, *U. S. Geol. Survey Professional Paper*, 411-A.
- Oude Essink, G.H.P., 2001, Saltwater Intrusion in 3D Large-scale Aquifers: A Dutch Case, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B. Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26 (4), 337–344.
- Özaydın, V., 1997, Water Balance of Lakes by Using Stable Isotope Mass Balance Method, A thesis Submitted to The Graduated Scgool of Natural and Applied Science of the Middle East Technical University, 192p.
- Küçük, İ. ve Angı, A.E., 2005, Mogan ve Eymir Gölleri Havzasının Hidrometeorolojik Özellikleri, *Elektrik İşleri Etüt (EİE) İdaresi Genel Müdürlüğü*, 161 s.
- Pang, L., Close, M.E., Noonan, M., 1998, Rhodamine WT and *Bacillus subtilis* transport through an alluvial gravel aquifer, *Ground Water*, 36 (1), 112–122.

- Parker, J.C. and van Genuchten M.T., 1984, Boundary conditions for displacement experiments through short laboratory columns, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 703-711.
- Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C. and Plummer, L.N., 1990, PHREEQE-a Computer Program for Geochemical Calculations, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 80-96, USA.
- Parkhurst, D.L., 1995, User's Guide to PHREEQC-a Computer Program for Speciation, Reaction-path, Advective-Transport and Inverse Geochemical Calculations, Investigations Report 95-4227. U.S. Geological Survey, USA.
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., 1999, User's Guide to PHREEQC (Version 2) a Computer Program for Speciation, Reaction-path, 1D-transport, and Inverse Geochemical Calculations, Technical Report 99-4259. U.S. Geological Survey, USA.
- Patkowska, J.M., Hursthouse, A. and Kij, H.P., 2005, The interaction of heavy metals with urban soils: sorption behaviour of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a typical mixed brownfield deposit, *Environment International*, 31, 513-521.
- Ptak, T., Schmid, G., 1996, Dual-tracer transport experiments in a physically and chemically heterogeneous porous aquifer: Effective transport parameters and spatial variability, *J. Hydrol.*, 183 (1-2), 117-138.
- Reddell, D.L., Sunada, D.K., 1970, Numerical simulation of dispersion in groundwater aquifers, Colorado state university, Ft. Collins, Hydrology Paper, 41, 79 pp.
- Relyea, J.F., 1982, Theoretical and experimental considerations for the use of column method for determining retardation factors, radioactive waste management, *Nucl. Fuel Cycle*, 3, 151-166.
- Roy, W. R., Drapac, I. G., Chou, S. F. J. and Griffin, R. A., 1991, Batch-type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals, EPA/530-SW-87-006-F, Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Piper, A. M., 1933, Notes on the Relationship Between Moisture-Equivalent and the Specific Retention of Water-Bearing Materials, *Am. Geophys. Union Trans.* v. 14, p.481-487.
- Rubin, Y., Cushey, M.A., Wilson, A., 1997, The moments of the breakthrough curves of instantaneously and kinetically sorbing solutes in heterogeneous geologic media: prediction and parameter inference from field measurements, *Water Resour. Res.*, 33, 11, 2465-2481.
- Sanford, W.E., and Konikow, L.F., 1985, A two-constituent solute transport model for ground water having variable density: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 85-4279, 89 p.

- Scheckel, K. G. and Sparks, D. L., 2001, Temperature effects on nickel sorption kinetics at the mineral–water interface, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 719-728.
- Scheidegger, A. E., 1954, Statical hydrodynamics on porous media, *J. Appl. Phys.*, v. 25, no.8, pp.997-1001.
- Scheidegger, A. E., 1957, On the theory of flow of miscible phases in porous media, *C. R. Ass. Gen. Toronto, Assoc. Hydr. Sci., U. G. G. I.*, v. 2, pp. 236-242.
- Scheidegger, A. E., 1958, Typical solution of the differential equations of statistical theories of flow through porous media, *Frans. Am. Geophys. Un.*, v. 39, pp.929 – 932.
- Selim, H. M., Davidson, J. M. and Mansell, R. S., 1976, Evaluation of a two-site adsorption-desorption model for describing solute transport in soils, p. 444-448, *Proc. Summer Comp. Stimu. Conf.*, Washington, DC, 12-14 July 1976. Simulations Counsels, La Jolla, CA.
- Selim, H.M. and Amacher, M.C., 1988, A Second-order kinetic aproach for modeling solute retention and transport in soils, *Water Resour. Res.*, 24, 2061–2075.
- Selim, H. M., 1992, Modeling the transport and retention of inorganics in soils, *Advances in Agronomy*, Vol. 47, 331-384.
- Selim, H.M. and Ma, L., 1995, Transport of reactive solutes in Soil,: A modified two region approach, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 75-82.
- Shapiro, A.M., Margolin, J., Dolev, S., and Ben-Israel, Y., 1997, A graphical-user interface for the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite difference ground-water flow model (MODFLOW-96) using Argus Numerical Environments: U.S. Geological Survey Open-File Report 97 121, 50 p.
- Shukla, M.K., Kammerer, G., 1998, Vergleichende Untersuchungen zur Modellierung des Stofftransportes in Porösen Medien Mit und Ohne Totwasserzone (Comparison between two Models Describing Solute Transport in Porous Media with and without Immobile Water), *O sterr. Wasser-Abfallwirtsch*, 50, 254–260.
- Smith, L. and Schwartz F. W., 1980, Mass trasport, 1, A stochastic analysis of masroscopic dispersion, *Water Resour. Res.*, 16, 2, 303-313.
- Toride, N., Leij, F.J. and Van Genuchten, M.Th., 1995, The CXTFIT Code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments, Version 2.0, Research Report No. 137, US, Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, USA.
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE), 2005, TS-266, 20s.

- Tzou, Y.M., Chen, Y.R., Wang, M.K., 1998, Chromate Sorption by Acidic and Alkaline Soil, *J. Am. Water Res. Assoc.*, 34, 519-530.
- UKAM (HÜ), 1998, Mogan Gölü (Gölbaşı-Ankara) Dip Çamurunun İncelenmesi, 132s.
- USDA, 1972, Soil Conservation Service, SCS, National Engineering Handbook, Sec. 4, Hydrology.
- Valocchi A.J., 1985, Validity of the local equilibrium assumption for modeling sorbing solute transport through homogeneous soils, *Water Resour. Res.*, 21, 808-820.
- van Genuchten, M.Th., and P.J. Wierenga, 1976, Mass transfer studies in sorbing porous media: I. Analytical solutions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40,473–480.
- van Genuchten, M.T. and P.J. Wierenga,1977, Mass transfer studies in sorbing porous media: II. Experimental evaluation with Tritium ($^3\text{H}_2\text{O}$), *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 272-278.
- Vanclooster, M., Vereecken, H., Diels, J., Huysmans, F., Verstraete, W., Feyen, J., 1992, Effect of mobile and immobile water in predicting nitrogen leaching from cropped soils, *Modelling Geo-biosphere Processes I*, 23-40.
- Vanclooster, M., Mallants, D., Diels, J., and Feyen, J., 1993, Determining local-scale solute transport parameters using time domain reflectometry (TDR), *J. Hydrol.*, 148,93-107.
- Vereecken, H., Jaekel, U., Georgescu, A., 1998b, Asymtotic Analysis of Solute Transport with linear Nonequilibrium Sorption in Porous Media, *Transport in Porous Media*, in press.
- Voss, C.I., 1984, A finite-element Simulation Model for Saturated– Unsaturated, Fluid-density-dependent Groundwater Flow with Energy Transport or Chemically-reactive Single-species Solute Transport, U.S. Geological Survey, USA.
- Wierenga, P. J. and van Genuchten, M. Th., 1989, Solute transport through small and larger unsaturated soil columns, *Ground Water*, 27, 35-42.
- Winston, R.B., 1999, Upgrade to MODFLOW-GUI: Addition of MODPATH, ZONEBDGT and Additional MODFLOW Packages, U.S. Geological Survey Open-File Report 99-184, 63p.
- Winston, R.B., 2000, Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4: U.S.Geological Survey Open-File Report 00-315, 27p.
- WSSD, 2002, World Summit on Sustainable Development, Implementation Report, Johannesburg, 26 Ağustos-3 Eylül 2002, Güney Afrika.
- Yeh, G.T., Salvage, K.M., Gwo, J.P., Zachara, J.M., Szecsody, J.E., 1998, HYDROBIOGEOCHEM: A Coupled Model of HYDROlogic Transport and

Mixed BIOGEOCHEMical Kinetic/equilibrium Reactions in Saturated-Unsaturated Media, Oak Ridge National Laboratory, Center for Computational Sciences, Oak Ridge, USA.

Yu, C., Warrick, A.W., Conklin, M.H., 1999, A moment method for analyzing breakthrough curves of step inputs, *Water Resources Res.*, 35, 11, 3567-3572.

Yurtseven, E., 2006, Mogan ve Eymir Gölleri Arasındaki Hidrojeolojik Birimlerin Nitrat ve Fosfat Kirlenici Taşınım Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s.

Zheng, C. and Wang, P. P., 1999, MT3DMS, A modular three-dimensional multi-species transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; documentation and user's guide, U.S. Army Engineer Research and Development Center Contract Report SERDP-99-1, Vicksburg, MS, 202p.

Zheng, C., 2006, MT3DMS v5.2 Supplemental User's Guide, Technical Report to the U.S. Army Engineer Research and Development Center, Department of Geological Sciences, University of Alabama, 24p.

EKLER

- Ek 1: Çalışma alanında özel ve kamu kuruluşları tarafından açılan sondaj kuyularında yapılan YAS ölçümleri (m) (Eylül 1999-Mart 2006)
- Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler (Ağustos, Ekim, Aralık 2005, Mart 2006)
- Ek 3: Toprak örneklerine ait tane boyu analiz grafikleri
- Ek 4: Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda toprak örneklerine ait hesaplanan parametre değerleri
- Ek 5 : Toprak örneklerinde kirleticilere (Cu, Zn, Mn) ait tutulma izoterm modelleri

Ek 1: Çalışma alanında özel ve kamu kuruluşları tarafından açılan sondaj kuyularında yapılan YAS ölçümleri (m) (Eylül 1999-Mart 2006)

Kuyu No	48591	48592	48595	48596	48597	48598
Eylül.99	970.17	969.05	970.19	969.69	970.38	970.60
Ekim	970.21	969.06	970.15	969.63	970.34	970.57
Kasım	970.24	969.06	970.22	969.68	970.35	970.56
Aralık	970.36	969.16	970.10	969.73	970.39	970.60
Ocak.00	970.47	969.51	970.13	970.11	970.43	970.65
Şubat	970.93	969.89	969.76	969.83	972.46	972.71
Mart	970.82	969.87	970.32	970.42	970.58	970.76
Nisan	971.04	970.20	969.96	970.05	972.70	973.09
Mayıs	970.63	969.82	970.35	970.07	970.85	971.39
Haziran	970.56	969.77	970.29	969.89	970.72	971.32
Temmuz	970.22	969.52	-	969.29	970.53	970.99
Ağustos	970.07	969.28	-	969.78	970.35	970.61
Eylül	970.12	969.16	-	969.57	970.27	970.48
Ekim	970.31	969.08	-	969.72	970.33	970.45
Kasım	970.41	969.00	-	969.81	970.35	970.48
Aralık	970.42	969.00	-	969.83	970.38	970.51
Ocak.01	970.52	969.17	-	969.93	970.44	970.57
Şubat	970.62	969.20	-	969.98	970.37	970.58
Mart	970.60	969.19	-	969.99	970.34	970.58
Nisan	970.60	969.23	-	969.95	970.39	970.61
Mayıs	969.80	969.40	-	970.11	970.47	970.70
Haziran	969.58	969.28	-	969.89	970.40	970.65
Temmuz	969.31	969.08	-	969.62	970.27	970.47
Ağustos	969.17	969.00	-	969.48	970.11	970.30
Eylül	969.06	968.99	-	969.37	970.04	970.27
Ekim	970.38	968.98	-	969.42	970.49	970.25
Kasım	970.56	969.02	-	969.62	970.33	970.01
Aralık	970.60	969.04	-	969.79	970.28	970.36
Ocak.02	970.71	969.30	-	969.98	970.47	970.70
Şubat	970.47	969.23	-	970.03	970.45	970.68

Ek 1: devam ediyor

Kuyu No	48591	48592	48595	48596	48597	48598
Mart	970.67	969.27	-	970.03	970.60	970.71
Nisan	970.78	969.45	-	970.04	-	970.85
Mayıs	970.68	969.69	-	970.30	970.66	971.05
Haziran	970.59	969.51	-	969.89	970.63	971.13
Temmuz	970.41	969.33	-	969.69	-	970.92
Ağustos	970.22	969.17	-	969.22	-	970.69
Eylül	970.28	969.11	-	969.45	-	970.65
Ekim	970.62	969.25	-	969.55	-	971.70
Kasım	970.73	969.27	-	969.65	-	971.69
Aralık	970.58	969.09	-	969.85	-	970.68
Ocak.03	970.63	969.14	-	969.96	-	970.76
Şubat	970.76	969.21	-	970.03	-	970.82
Mart	970.72	969.32	-	970.07	-	970.94
Nisan	970.65	969.26	-	969.91	-	970.95
Mayıs	970.57	969.11	-	969.91	-	971.05
Haziran	970.50	968.97	-	969.74	-	970.78
Temmuz	970.13	969.32	-	969.49	-	970.95
Ağustos	970.01	969.02	-	968.99	-	970.66
Eylül	970.01	968.92	-	968.99	-	970.56
Ekim	970.28	968.88	-	969.13	-	970.56
Kasım	969.84	968.84	-	969.35	-	970.57
Aralık	969.59	968.95	-	969.76	-	970.57
Ocak.04	969.86	969.21	-	969.91	-	970.69
Şubat	970.27	969.30	-	969.93	-	970.65
Mart	970.39	969.31	-	969.98	-	970.74
Nisan	970.60	969.31	-	969.97	-	971.10
Mayıs.04	970.54	969.31	-	969.75	-	971.13
Haziran	970.50	969.31	-	969.90	-	971.14

Ek 1: devam ediyor

Kuyu No	48591	48592	48595	48596	48597	48598
Temmuz	970.33	969.23	-	969.71	-	-
Ağustos	970.03	969.08	-	969.16	-	-
Eylül	970.15	969.04	-	969.30	-	-
Ekim	970.29	969.00	-	969.62	-	-
Kasım	970.43	969.05	-	969.47	-	-
Aralık	970.19	969.14	-	969.97	-	-

Not: 2004 yılı sonuna kadar kuyularda yapılan YAS ölçümleri EİE İdaresi tarafından yapılmış olup; 1/1000 ölçekli kuyu kotlarına göre revize edilerek düzeltilmiş olan değerlerdir.

devam ediyor

	E-1	E-2	E-3	E-4	48596	E-5	E-6	Ö-1	E-7	E-8	48591	48592	E-9	E-10
05	-	-	-	-	969.95	-	-	-	-	-	970.19	968.94	-	-
	-	-	-	-	969.86	-	-	969.61	-	-	970.64	969.17	-	-
n	-	-	-	-	969.47	-	-	969.84	-	-	970.34	969.24	-	-
s	-	-	-	-	969.54	-	-	969.77	-	-	970.25	969.2	-	-
ran	-	-	-	-	969.56	-	-	969.94	-	-	970.19	969.18	-	-
muz	-	-	-	-	969.51	-	-	970.03	-	-	970.08	969.03	-	-
stos	971.971	971.12	971.39	969.62	969.48	970.21	969.22	970.24	968.81	968.875	970.005	968.975	968.273	968.053
l	-	-	-	969.52	969.36	-	969.05	-	968.67	968.765	969.915	968.865	968.142	968.053
n	-	-	-	969.66	969.53	-	969.18	-	968.84	968.89	970.15	968.83	968.053	968.053
m	-	-	-	969.95	969.86	-	969.22	-	968.95	969.06	970.37	968.98	968.14	968.053
k	-	-	-	969.96	969.75	-	969.26	-	968.98	969.17	970.16	968.78	968.20	968.053
06	-	-	-	970.09	970.11	-	969.49	-	969.38	969.36	970.34	969.14	968.41	968.053
at	-	-	-	970.08	970.09	-	969.47	-	969.38	969.36	970.35	969.145	968.53	968.053
	-	-	-	969.99	969.9	-	969.38	-	969.07	969.265	970.645	969.305	968.683	968.053

Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler (Ağustos-2005)

Örnek Yeri	Konum		pH	T (°C)	Eİ (µS/cm)	TDS (g/l)	Tuzluluk	ÇÖ (mg/l)	Kasyon (ppm)				Anyon (ppm)			
	Doğu	Kuzey							Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
B	482861	4405097	9.18	24.2	3559	2.31	1.87	13.63	26.39	96.74	630.24	8.94	454.65	212.42	597.21	360.18
E-1	482865	4405112	7.35	16.5	4637	3.01	2.5	0.22	150.67	129.14	924.55	4.33	1041.9	167.70	1091.01	632.53
E-2	482914	4405615	7.09	18.4	1228	0.79	0.62	4.27	125.95	36.59	65.53	9.49	226.56	44.72	173.47	90.04
48596	483611	4405855	7.43	17.7	1412	0.92	0.71	0.37	45.10	76.04	156.28	2.24	681.97	89.44	5.33	65.19
E-3	483555	4405519	7.11	17.4	1746	1.13	0.89	0.93	110.73	75.67	138.75	3.65	317.49	67.08	260.00	158.83
E-4	483604	4405850	7.46	19.5	1925	1.25	0.96	0.51	23.46	53.56	321.91	1.9	726.67	89.44	75.69	147.01
B.G.	483757	4406029	7.98	22.5	1064	0.69	0.53	0.11	54.93	25.12	113.98	15.3	424.34	0	132.22	101.09
E-6	483751	4406242	7.26	22.1	3306	2.14	1.73	0.72	223.89	100.91	361.14	26.7	712.28	40.99	772.27	230.16
Ö-1	483652	4406551	6.91	19.1	2681	1.74	1.39	1.13	279.34	89.45	112.68	4.67	344.77	29.81	229.15	432.83
E-7	484218	4406775	7.03	19.8	3074	1.99	1.61	0.48	70.13	146.86	433.46	4.45	863.83	74.53	544.41	364.37
E-8	484537	4407133	7.29	18.9	3790	2.46	2.01	0.55	56.93	96.99	734.29	2.11	1098.7	74.53	811.27	202.61
48591	484539	4407173	6.98	16.1	890	0.57	0.44	0.11	93.30	22.83	60.06	1.89	371.29	18.63	59.02	31.46
48592	484537	4407166	7.98	15.9	1054	0.68	0.53	6.33	66.93	34.13	105.46	4.71	306.89	29.81	48.59	100.06
B.S.	484444	4407303	7.51	20.9	1800	1.17	0.92	1.33	98.78	51.48	195.55	6.66	534.21	18.63	142.57	137.93
E-10	484714	4407290	7.11	20.2	1098	0.71	0.55	0.83	106.14	38.02	66.01	23.4	522.84	0	58.70	41.31
G	484669	4407854	9.62	28.1	2806	1.63	1.29	23.95	29.89	83.07	451.52	12.6	406.15	175.15	367.53	238.77

Not: B, Mogan Gölü B numaralı örnekleme lokasyonu; B.G., Eymir Bataklık girişi; B.S., Eymir Bataklığı sonu; Ö-1, Özel kuyu; G, Eymir Gölü G numaralı örnekleme lokasyonu

Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler (Ağustos-2005)

Örnek Yeri	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	F	Br	PO ₄	Li	Sr	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Ni	Cd	Cr
	ppm			ppm					ppm							
B	0	0	0	2.03	0	0	0	0	0.015	0.01	0	0.005	0.01	0.022	0.008	0
E-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.091	0.069	0.016	0.005	0.203	0.028	0.013	0.011
E-2	139.98	0	1.59	4.06	0	0	0.04	0.51	0.041	0.022	0.015	1.68	0.543	0.025	0.004	0
48596	0	0	0	1.30	0	0	0	0.41	0.011	0.039	0	0.625	0.361	0	0	0
E-3	146.21	0	0	2.51	0	1.3	0	0	0.113	0.029	0.053	0.233	0.557	0.056	0	0
E-4	0	0	0	1.76	0	0	0.03	0	0.357	0.205	0.095	1.349	0.565	0.082	0.006	0.017
B.G.	0	0	27.36	2.36	0	20.3	0.05	0.29	0.027	0.047	0.074	0.218	0.229	0.023	0	0.027
E-6	39.84	0	0	1.00	0	0	0.1	0.83	0.239	0.208	0.024	0.783	0.463	0.094	0.007	0.017
Ö-1	97.45	0	2.74	0	0	2.5	0.04	0.79	0.014	0.047	0	0.154	0.059	0.04	0.013	0.01
E-7	0	0	0	0	0	0	0	0.91	0.055	0.031	0	0.352	0.368	0	0.005	0
E-8	0	0	0	0	0	0	0.02	0.67	0.058	0.039	0	0.067	0.465	0.044	0.007	0
48591	0	0	1.61	1.05	0	0	0.01	1.43	0.017	0.01	0.033	0.716	0.417	0	0	0
48592	10.30	0	1.38	1.53	0	0	0.03	1.14	0.021	0.015	0	0.069	0.011	0	0	0
B.S.	0	0	0	0.78	0	0	0.01	1.07	0.015	0.01	0.056	0.081	0.236	0.027	0.005	0
E-10	8.68	0	1.90	0.75	0	0	0.03	0.51	0.08	0.116	0.025	0.14	0.806	0.044	0.008	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0.	0.01	0.01	0.028	0.015	0.01	0.018	0.007	0

Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler (Ekim-2005)

Örnek Yeri	pH	T	Eİ	TDS	Tuzluluk	ÇO	KATYON (ppm)				ANYON (ppm)			
	(°C)	(µS/cm)	(g/l)			(mg/l)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
A.(0. m)	9.47	17.62	3734	2.427	1.98	10.04	20.16	123.84	728.92	12.03	471.72	192.00	747.73	413.41
A (1. m)	9.45	17.16	3494	2.271	1.85	8.96	18.80	115.47	686.21	11.52	508.32	180.00	679.36	379.66
A (2. m)	9.44	16.72	3733	2.427	1.98	9.99	18.21	112.07	722.26	11.60	463.59	200.00	662.69	370.04
E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48596	7.67	18.81	1438	0.935	0.72	0.47	47.24	89.12	167.06	1.41	886.51	0	1.39	44.10
E-4	7.53	19.84	2085	1.355	0.7	0.17	18.83	46.01	437.60	2.36	1065.44	0	51.00	122.13
E-6	7.37	16.56	2102	1.37	1.09	0.16	151.65	72.47	237.96	20.52	609.98	0	520.97	146.15
B.G.	7.32	15.82	2114	1.377	1.09	4.34	93.10	42.24	166.21	8.87	431.06	0	278.62	137.90
Ö-1	6.92	16.9	2741	1.782	1.43	1.21	295.99	97.62	126.99	3.57	386.32	0	370.18	472.82
E-7	7.11	17.48	2760	1.794	1.44	0.38	75.82	159.55	374.35	2.77	1036.97	0	342.44	279.61
E-8	7.29	17.47	2983	2.265	1.84	7.29	53.83	87.51	617.04	1.81	1187.44	0	596.68	140.73
48591	7.05	17.38	895	0.582	0.44	0.19	81.68	23.26	62.53	1.55	390.39	0	44.33	22.81
48592	7.88	16.75	1050	0.683	0.52	5.8	63.54	35.15	107.53	4.24	349.72	0	64.30	131.56
B.S.	8.12	12.7	485	0.315	0.24	11.2	54.82	13.78	41.02	4.24	170.80	0	98.98	27.51
E-10	7.41	16.67	499	0.324	0.24	3.81	39.95	6.82	33.96	9.20	183.00	0	20.65	16.57
G	9.5	17.69	2750	1.787	1.43	14.5	24.19	98.77	495.83	13.09	447.32	104.00	523.33	346.63

Not: E-1,2,3 numaralı kuyularda tahribat yüzünden örnekleme yapılamamıştır.

Ek 2:Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen kimyasal parametreler (Ekim-2005)

Örnek Yeri	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	F	Br	PO ₄	Li	Sr	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Ni	Cd	Cr
	ppm			ppm					ppm							
A (0. m)	0	0	0	0	0	0	0.059	0	0	0.003	0.07	0.034	0.01	0.029	0	0
A (1. m)	0	0	0	0	0	0	0.052	0.504	0	0.008	0.032	0.049	0.017	0	0	0.012
A (2. m)	0	0	0	0	1.495	0	0.079	0	0.01	0.016	0.059	0.056	0.017	0	0.013	0.015
E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48596	0	0	0	0.252	0	0	0	0.196	0.012	0.022	0.036	0.886	0.391	0	0.005	0.014
E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-4	0	0	0	0.520	0.472	0	0.003	0.101	0.082	0.055	0.031	0.120	0.891	0.023	0.009	0.012
B.G.	0	0	6.24	0	0	0	0.023	0	0	0.009	0.059	0.140	0.745	0.043	0	0
E-6	0	0	0	0	0	0	0.091	1.292	0.064	0.045	0.086	0.392	0.130	0	0	0
Ö-1	99.38	0	1.0	0	0	0	0.071	0	0	0.015	0.066	0.038	0.057	0	0	0
E-7	0	0	0	0	0	0	0.011	1.053	0.021	0.031	0	1.439	0.274	0.032	0	0
E-8	0	0	0	0	0	0	0.016	0.343	0.047	0.041	0	1.325	0.099	0.02	0	0.015
48591	0.75	0	0.43	0	0	0	0.01	0.416	0	0.012	0	0.231	0.21	0	0	0
48592	8.01	0	1.09	0	0	0	0.036	1.339	0.014	0.013	0.043	0.051	0.007	0	0	0
B.S.	1.69	0	0.88	0	0	0	0.038	0.144	0.105	0.065	0.036	0.385	0.039	0	0	0
E-10	3.47	0	0.59	0	0	0	0.003	0.098	0	0.008	0	0.055	0.022	0.02	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0.066	0	0.008	0.08	0	0.028	0.02	0.023	0	0

A (0., 1. ve 2. m), Mogan Gölü A numaralı lokasyonda yüzeyden,1nci ve 2 nci m derinliklerde yapılan örnekleme

Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen kimyasal parametreler (Aralık-2005)

Örnek Yeri	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	F	Br	PO ₄	Li	Sr	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Ni	Cd	Cr
	ppm			ppm					ppm							
B	0	0	0	1.322	2.556	0	0.078	0	0.014	0.012	0.013	0.063	0.033	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0.071	0	0.014	0.01	0.01	0.097	0.028	0	0	0
E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48596	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0.046	0.044	0.031	0.278	0.446	0	0	0.013
E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-4	0.563	0	0	0.171	0.954	1.539	0	0	0.154	0.088	0.021	0.057	0.715	0.02	0.	0.013
B.G.	0	0	34.57	0	0	0	0	0.024	0	0.031	0	0.121	0.346	0.019	0	0.012
E-6	1.579	0	2.127	0	0	0.751	0.056	1.132	0.108	0.07	0.019	0.609	0.485	0.014	0	0
Ö-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-7	1.066	0	0	0	2.791	0	0.006	1.14	0.045	0.057	0	0.333	0.179	0.017	0	0
E-8	0	0	0	0	0	0	0.030	0.919	0.085	0.084	0.033	0.056	0.474	0	0	0
48591	0	0	0.777	0.298	0	0	0.007	0.670	0.072	0.068	0.028	0.501	0.948	0	0	0
48592	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B.S.	2.328	0	0	0.262	0	0	0.033	0.397	0	0.019	0.106	0.034	0	0	0	0
E-10	14.934	0	0.732	0.221	0	0	0.029	0.552	0.055	0.107	0.044	1.314	0.729	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0.061	0	0	0	0	0.038	0.046	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0.045	0	0.06	0.01	0.01	0.028	0.059	0	0	0

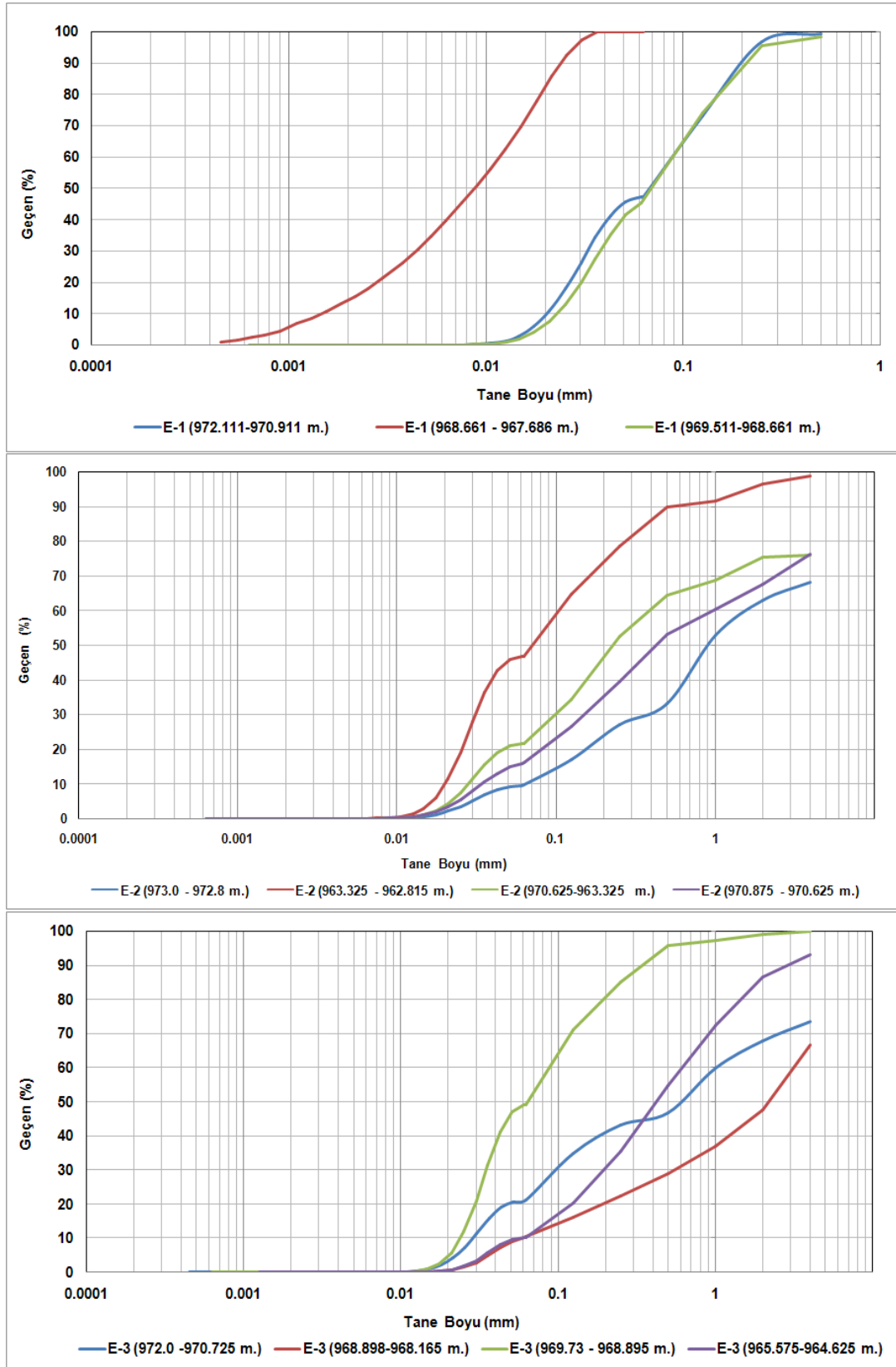
C, Mogan Gölü C numaralı örnekleme lokasyonu; H, Eymir Gölü H numaralı örnekleme lokasyon

Ek 2: Çalışma alanı içerisinde yer alan göl, bataklık ve sondaj kuyularında ölçülen kimyasal parametreler (Mart-2006)

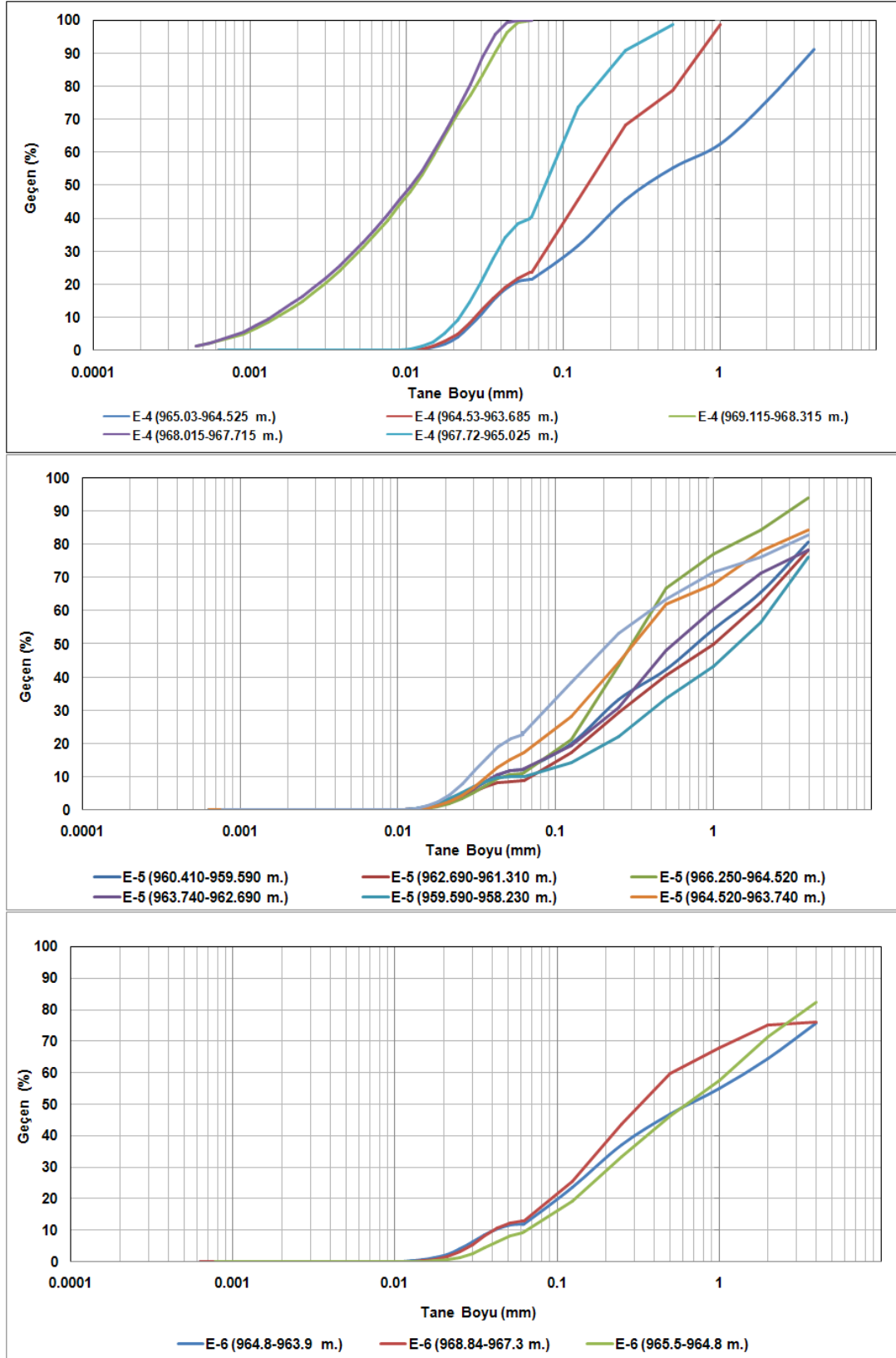
Örnek Yeri	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	F	Br	PO ₄	Li	Sr	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Ni	Cd	Cr
	ppm			ppm					ppm							
D (1. m)	1.18	0	0	1.213	1.585	0	0.054	0	0	0.063	0.0435	0.205	0.009	0	1.82*10 ⁻⁴	0.123
D (2. m)	1.31	0	0	1.422	1.594	0	0.051	0	0.0318	0.093	0.03865	0.516	0.02	0	2.59*10 ⁻⁴	0.040
E (1. m)	1.02	0	0	1.071	1.553	0	0.056	0	0	0.041	0.02303	0.298	0.012	0	2.38*10 ⁻⁴	0.038
E (2. m)	1.29	0	0	1.048	1.396	0	0.05	0	0	0.046	0.02583	0.153	0.01	0	1.5*10 ⁻⁴	0.037
F (1. m)	1.34	0	0	1.123	1.672	0	0.064	0	0	0.042	0.02606	0.284	0.014	0	6.68*10 ⁻⁴	0.039
F (2. m)	1.06	0	0	0.959	1.697	0	0.056	0	0	0.054	0.02602	0.182	0.01	0	2.37*10 ⁻⁴	0.039
F (3. m)	1.08	0	0	1.401	1.692	0	0.054	0	0	0.061	0	0.287	0.014	0	2.02**10 ⁻⁴	0.044
48596	0.19	0	0	0.668	0.629	1.125	0	0.556	0	0.002	0	0.176	0.499	0	1.89*10 ⁻⁴	0.01
B.G	12.52	0	4.01	0.448	0.574	0	0.018	0.609	0	0.064	0.03456	0.156	0.175	0	4.56*10 ⁻⁴	0.029
48591	0.26	0	0	0.701	0.065	0	0.017	0.883	0	0.076	0	0.123	1.564	0	6.33*10 ⁻⁴	0.039
48592	11.27	0	0	0.934	0.615	0	0.35	0.619	0	0.117	0.05877	0.067	0.014	0	1.64*10 ⁻⁴	0.065
B.S.	1.18	0	0	0.556	0.341	0.676	0.021	0.377	0	0.067	0.04602	0.102	0.043	0	3.72*10 ⁻⁴	0.02
G	0.66	0	0	1.231	1.146	0	0.045	0	0	0.068	0.05038	0.123	0.013	0	3.35*10 ⁻⁴	0.03

D (1. ve 2. m), Mogan Gölü'nde D numaralı. lokasyonda 1. ve 2. m derinliklerde yapılan örnekleme; E (1. ve 2. m): Mogan Gölü E numaralı. lokasyonda 1. ve 2. m derinliklerde yapılan örnekleme; F(1.2. ve 3.m):Mogan Gölü F numaralı. lokasyonda 1. 2. ve 3. m derinliklerde yapılan örnekleme

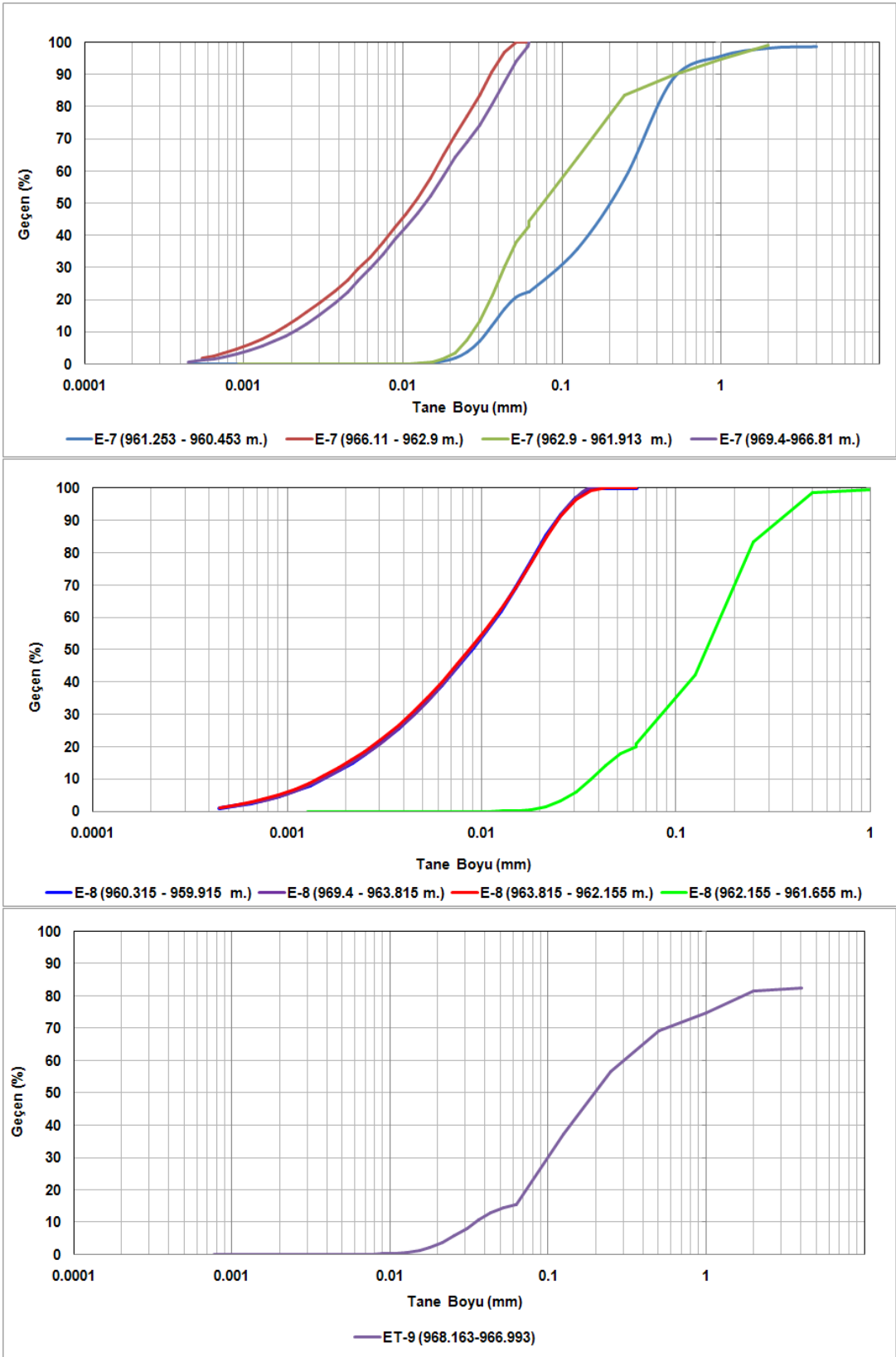
Ek 3: Toprak örneklerine ait tane boyu analiz grafikleri



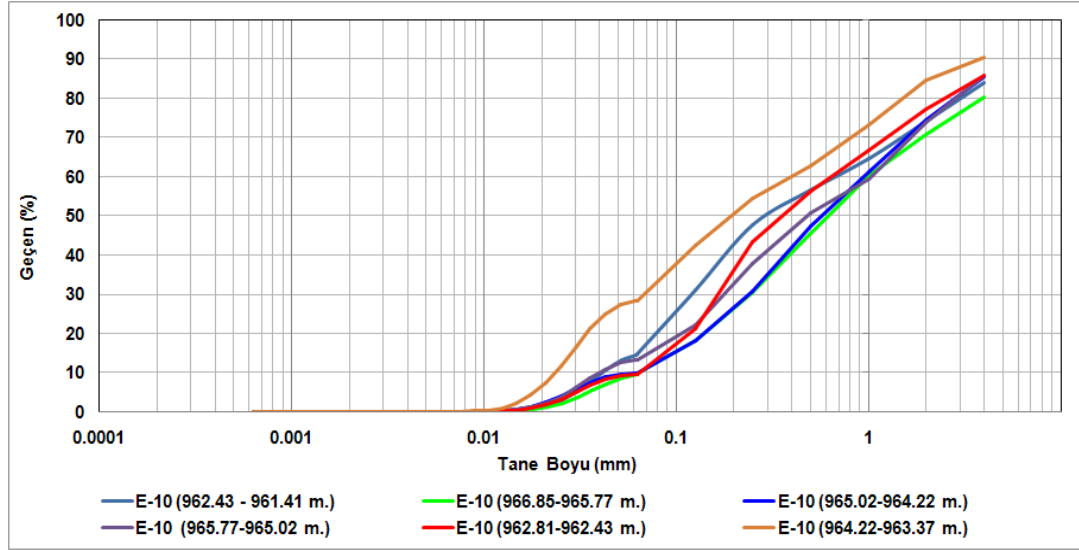
Ek 3: devam ediyor



Ek 3: devam ediyor



Ek 3: devam ediyor



Ek 4: Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda toprak örneklerine ait hesaplanan parametre değerleri

Kuyu	Kot (m)		ρ_B	Gs	n	Sr	Sy	O.M.	K	Sınıflandırma
No	Züst	Zalt	(gr/cm ³)	(Boyutsuz)	(%)	(%)	(%)	%	(m/gün)	USDA (1972)
E-1	973.711	973.361	-	-	-	-	-	-	-	Toprak örtüsü
E-1	973.361	972.311	1.553	2.44	36.46	35.00	1.46	2.10	1.294*10 ⁻⁵	Siltli killi tın
E-1	972.311	971.111	1.856	2.76	32.63	28.84	3.79	2.66	5.859*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-1	971.111	969.711	1.413	2.47	42.81	41.58	1.24	2.56	3.903*10 ⁻⁵	Kil
E-1	969.711	968.761	1.847	2.72	32.16	29.02	3.14	1.91	2.618*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-1	968.761	967.711	1.429	2.47	42.13	41.23	0.90	2.81	2.332*10 ⁻⁵	Siltli killi tın
E-2	973.500	973.000	1.840	2.66	30.71	18.01	12.69	0.91	1.948*10 ⁻³	Kum
E-2	973.000	972.800	1.836	2.71	32.25	27.34	4.90	0.95	6.177*10 ⁻³	Kumlu tın
E-2	972.800	972.365	1.822	2.60	30.03	21.22	8.81	0.96	1.168*10 ⁻³	Tınlı kum
E-2	972.365	971.375	1.852	2.67	30.56	19.24	11.32	1.04	5.867*10 ⁻³	Kum
E-2	971.375	970.875	1.865	2.64	29.35	23.52	5.83	1.39	2.637*10 ⁻⁴	Tınlı kum
E-2	970.875	970.625	1.837	2.69	31.84	29.05	2.78	0.81	6.565*10 ⁻³	Kumlu tın
E-2	970.625	963.325	1.947	2.72	28.32	18.34	9.98	1.37	5.402*10 ⁻⁴	Tınlı kum
E-2	963.325	962.815	1.853	2.73	32.11	29.73	2.38	2.22	1.487*10 ⁻³	Kumlu tın
E-3	972.800	972.000	-	-	-	-	-	-	-	Toprak örtüsü
E-3	972.000	970.725	1.825	2.69	32.23	25.97	6.26	1.73	1.924*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-3	970.725	970.325	1.722	2.55	32.45	30.00	2.45	1.09	1.998*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-3	970.325	969.725	1.882	2.62	28.30	11.21	17.09	1.23	2.175*10 ⁻²	Kum
E-3	969.725	968.895	1.547	2.40	35.63	34.15	1.48	2.21	3.107*10 ⁻⁵	Kumlu tın
E-3	968.895	968.165	1.779	2.48	28.40	20.88	7.52	2.56	7.280*10 ⁻³	Tınlı kum
E-3	968.165	967.565	1.490	2.40	37.83	34.75	3.07	2.42	5.604*10 ⁻⁵	Kil
E-3	967.565	967.165	1.756	2.61	32.62	25.66	6.96	1.79	3.046*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-3	967.165	966.105	1.597	2.43	34.13	30.18	3.94	1.22	1.837*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-3	966.105	965.575	1.779	2.59	31.36	25.91	5.46	1.06	3.678*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-3	965.575	964.625	1.777	2.56	30.64	16.10	14.54	1.49	1.072*10 ⁻³	Kum
E-3	964.625	964.155	1.487	2.22	32.93	29.46	3.47	2.25	2.070*10 ⁻²	Siltli tın
E-3	964.155	963.575	1.806	2.57	29.76	13.79	15.96	1.56	6.694*10 ⁻⁴	Kum
E-3	963.575	962.655	1.224	1.74	29.67	27.32	2.34	1.31	3.006*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-3	962.655	962.055	1.724	2.51	31.21	24.33	6.88	1.67	1.602*10 ⁻³	Kumlu tın
E-3	962.055	961.375	1.701	2.48	31.29	23.65	7.64	2.37	2.467*10 ⁻³	Tınlı kum

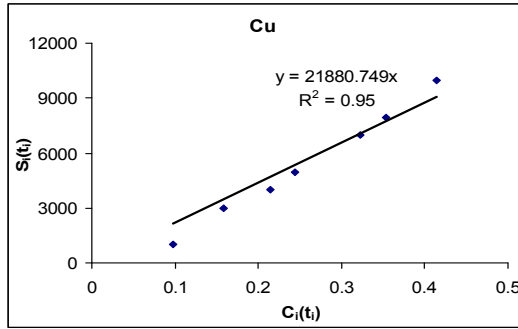
Ek 4: devam ediyor

Kuyu	Kot (m)		ρ_B	Gs	n	Sr	Sy	O.M.	K	Sınıflandırma
No	Züst	Zalt	(gr/cm ³)	(Boyutsuz)	(%)	(%)	(%)	%	(m/sn)	USDA (1972)
E-4	971.190	968.815	1.488	2.36	37.05	34.64	2.41	2.47	1.696*10 ⁻⁵	Kil
E-4	968.815	969.415	1.642	2.42	32.14	28.91	3.22	1.77	1.631*10 ⁻³	Kumlu tın
E-4	969.415	969.115	1.740	2.45	29.03	20.98	8.05	1.96	2.175*10 ⁻³	Siltli tın
E-4	969.115	968.315	1.622	2.50	35.12	32.99	2.13	2.33	1.418*10 ⁻⁵	Tınlı kum
E-4	968.315	968.015	1.612	2.30	30.04	24.55	5.49	2.73	3.445*10 ⁻³	Siltli tın
E-4	968.015	967.715	1.369	2.32	40.93	36.97	3.96	1.82	7.780*10 ⁻⁵	Kil
E-4	967.715	965.025	1.818	2.67	31.98	27.42	4.56	2.81	1.358*10 ⁻³	Tınlı kum
E-4	965.025	964.525	1.634	2.49	34.41	27.98	6.44	2.78	1.496*10 ⁻³	Kumlu tın
E-4	964.525	963.658	1.580	2.42	34.70	30.39	4.31	3.10	2.122*10 ⁻³	Tınlı kum
E-5	971.780	971.530	1.629	2.62	37.86	35.23	2.63	1.67	4.549*10 ⁻⁵	Kil
E-5	971.530	970.180	1.775	2.67	33.62	29.10	4.52	1.58	3.685*10 ⁻³	Kumlu tın
E-5	970.180	969.470	1.753	2.52	30.46	28.03	2.42	1.24	3.941*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-5	969.470	966.250	1.735	2.47	29.87	21.90	7.97	1.36	5.534*10 ⁻⁴	Tınlı kum
E-5	966.250	964.520	1.870	2.74	31.61	19.64	11.97	0.76	6.823*10 ⁻³	Kum
E-5	964.520	963.740	1.756	2.61	32.63	27.09	5.54	1.16	2.471*10 ⁻³	Kumlu tın
E-5	963.740	962.690	1.857	2.64	29.69	22.66	7.03	1.01	7.747*10 ⁻⁵	Tınlı kum
E-5	962.690	961.310	1.904	2.66	28.54	17.41	11.13	0.64	8.709*10 ⁻⁴	Kum
E-5	961.310	960.410	1.481	2.03	27.15	20.35	6.80	1.41	1.535*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-5	960.410	959.590	1.804	2.54	28.94	17.97	10.97	0.45	1.146*10 ⁻³	Kum
E-5	959.590	958.230	1.903	2.67	28.62	13.47	15.15	0.37	2.436*10 ⁻³	Tınlı kum
E-6	969.700	968.840	1.687	2.66	36.57	34.88	1.68	2.85	2.778*10 ⁻⁵	Kil
E-6	968.840	967.300	1.784	2.54	29.78	27.51	2.27	2.68	1.443*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-6	967.300	965.500	1.662	2.34	29.02	20.63	8.39	3.45	2.149*10 ⁻⁴	Tınlı kum
E-6	965.500	964.800	1.593	2.47	35.45	31.98	3.47	2.89	4.151*10 ⁻⁴	Kil
E-6	964.800	963.900	1.737	2.55	31.97	28.65	3.32	2.89	5.432*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-6	963.900	963.200	1.642	2.63	37.68	35.89	1.80	3.60	3.726*10 ⁻⁵	Kil
E-7	969.450	966.810	1.585	2.64	39.93	37.28	2.66	2.88	5.581*10 ⁻⁵	Kil
E-7	966.810	966.110	1.602	2.39	33.08	29.70	3.38	3.10	1.285*10 ⁻³	Kumlu tın
E-7	966.110	962.900	1.513	2.66	41.06	41.54	1.52	3.95	5.285*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-7	962.900	961.913	1.742	2.60	33.09	29.96	3.13	2.57	2.815*10 ⁻³	Kumlu tın
E-7	961.913	961.253	1.504	2.57	41.61	40.45	1.15	2.72	2.715*10 ⁻⁴	Siltli tın

Ek 4: devam ediyor

Kuyu	Kot (m)		ρ_B	Gs	n	Sr	Sy	O.M.	K	Sınıflandırma
No	Züst	Zalt	(gr/cm ³)	(boyutsuz)	(%)	(%)	(%)	%	(m/sn)	USDA (1972)
E-7	961.253	960.453	1.718	2.49	30.98	16.38	14.60	1.81	1.795*10 ⁻³	Tınlı kum
E-7	960.453	959.703	1.642	2.63	37.58	35.85	1.73	2.59	6.145*10 ⁻⁵	Siltli tın
E-8	969.400	963.815	1.532	2.62	41.54	39.41	2.13	2.56	7.367*10 ⁻⁵	Kil
E-8	963.815	962.155	1.644	2.70	39.05	36.18	2.87	3.36	4.759*10 ⁻⁵	Siltli killi tın
E-8	962.155	961.655	1.789	2.55	29.74	14.80	14.93	1.04	3.442*10 ⁻³	Tınlı kum
E-8	961.655	960.315	1.425	2.24	36.33	32.68	3.65	3.01	4.414*10 ⁻⁵	Siltli tın
E-8	960.315	959.915	1.879	2.66	29.30	12.71	16.59	1.30	4.273*10 ⁻³	Tınlı kum
E-8	959.915	958.400	1.738	2.74	36.60	33.64	2.97	3.25	5.165*10 ⁻⁶	Siltli tın
E-9	970.153	969.553	1.837	2.80	34.42	30.02	4.40	1.44	3.667*10 ⁻⁵	Kumlu tın
E-9	969.553	969.313	1.590	2.59	38.69	36.48	2.20	2.02	1.118*10 ⁻⁵	Kil
E-9	969.313	969.113	1.894	2.66	28.78	16.50	12.28	1.49	5.940*10 ⁻⁵	Tınlı kum
E-9	969.113	968.163	1.769	2.65	33.36	28.89	4.47	1.78	3.021*10 ⁻⁵	Siltli tın
E-9	968.163	966.993	1.713	2.68	36.02	28.69	7.32	1.69	5.877*10 ⁻⁵	Kumlu tın
E-9	966.993	966.643	1.899	2.64	28.06	16.44	11.62	1.64	1.064*10 ⁻⁵	Tınlı kum
E-9	966.643	965.813	1.775	2.73	34.99	32.41	2.58	1.77	3.447*10 ⁻⁵	Kumlu tın
E-9	965.813	965.073	1.801	2.68	32.83	19.13	13.70	1.62	6.695*10 ⁻⁵	Tınlı kum
E-9	965.073	964.593	1.780	2.69	33.71	30.12	3.59	1.38	1.197*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-9	964.593	964.243	1.760	2.53	30.47	14.18	16.28	1.30	4.863*10 ⁻⁵	Kum
E-9	964.243	963.373	1.640	2.52	35.02	31.19	3.83	1.69	1.197*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-10	969.080	968.260	1.563	2.48	37.08	35.00	2.08	2.98	6.901*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-10	968.260	967.520	1.843	2.64	30.27	17.67	12.60	1.59	1.647*10 ⁻⁴	Tınlı kum
E-10	967.520	966.850	1.584	2.50	36.76	33.70	3.06	3.01	5.866*10 ⁻⁴	Siltli tın
E-10	966.850	965.770	1.735	2.63	34.07	25.91	8.16	1.04	3.979*10 ⁻⁴	Kumlu tın
E-10	965.770	965.020	1.824	2.61	30.22	19.26	10.96	1.40	8.078*10 ⁻³	Tınlı kum
E-10	965.020	964.220	1.835	2.71	32.20	24.56	7.64	1.60	4.562*10 ⁻³	Siltli killi tın
E-10	964.220	963.370	1.774	2.64	32.74	15.83	16.91	1.22	4.703*10 ⁻²	Kumlu tın
E-10	963.370	962.810	1.610	2.51	35.77	34.39	1.38	1.86	1.064*10 ⁻³	Tınlı kum
E-10	962.810	962.430	1.861	2.62	28.95	16.88	12.06	1.20	5.828*10 ⁻³	Kum
E-10	962.430	961.410	1.718	2.65	35.17	32.06	3.11	1.91	4.558*10 ⁻⁴	Tınlı kum
Göl tabanı	968.000	968.000	1.177	2.42	51.29	47.62	3.373	1.57	2.360*10 ⁻⁴	Kil

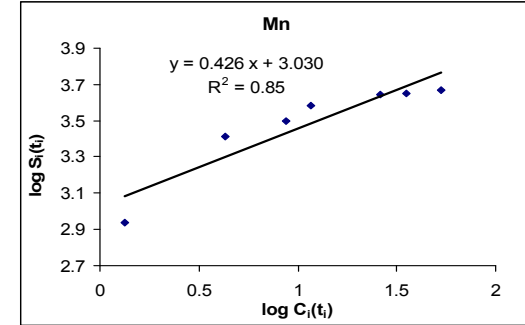
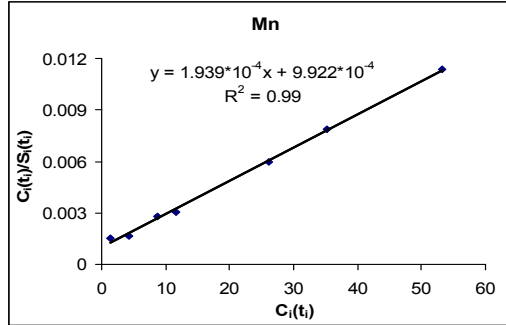
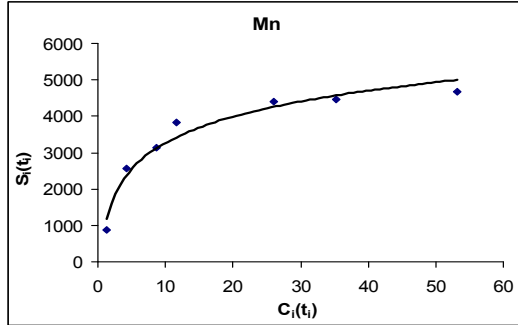
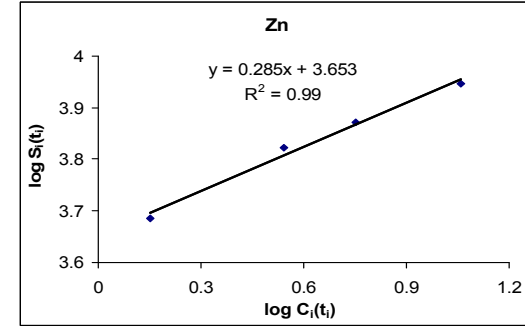
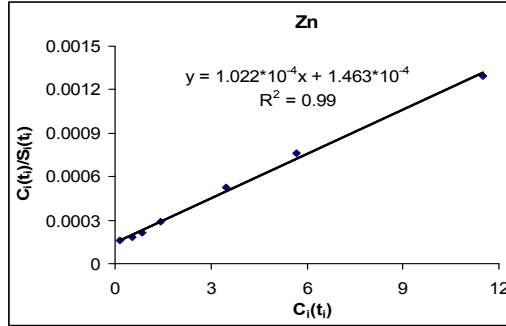
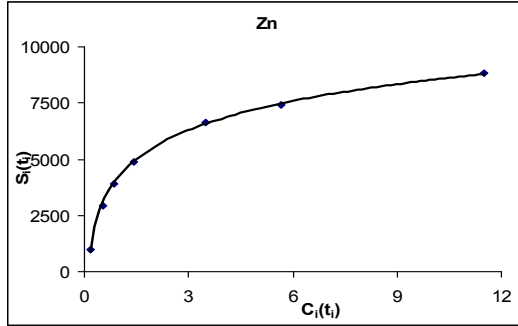
Ek 5: Toprak örneklerinde kirleticilere (Cu, Zn, Mn) ait tutulma izoterm modelleri



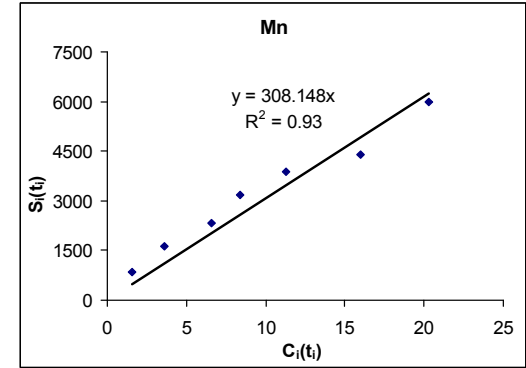
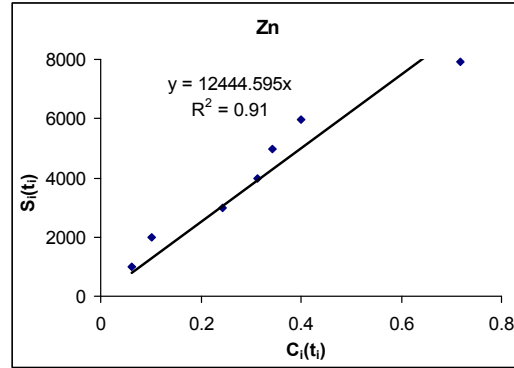
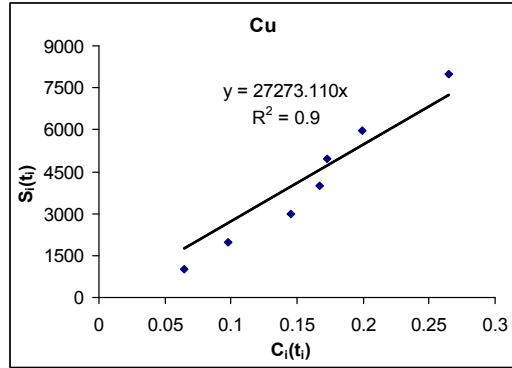
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-1	973.361-972.311		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	21880.749				
		Zn		9784.736	0.699	0.285	4497.799
		Mn		5155.436	0.195	0.427	1072.507

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

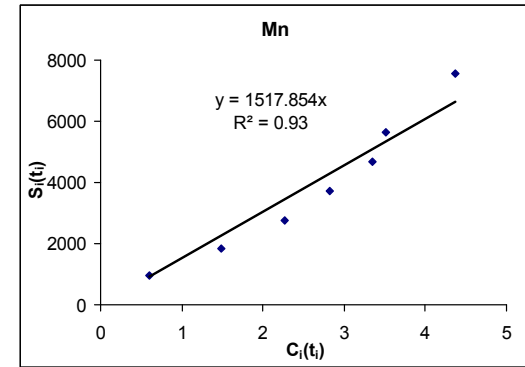
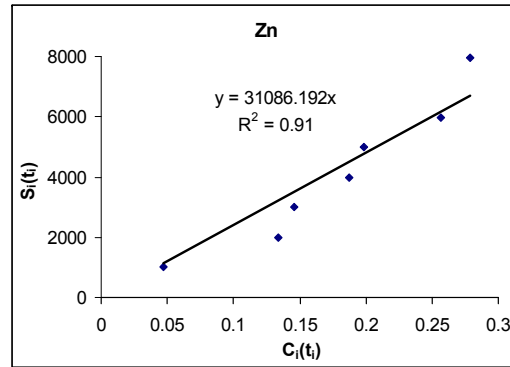
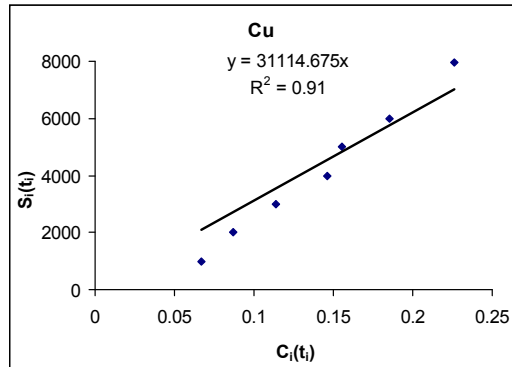


Ek 5: devam ediyor

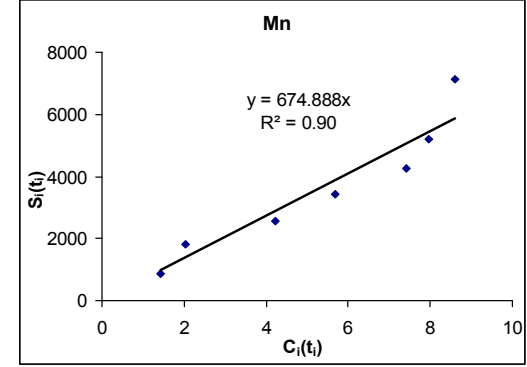
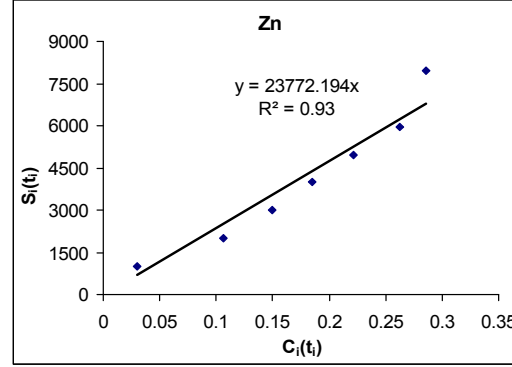
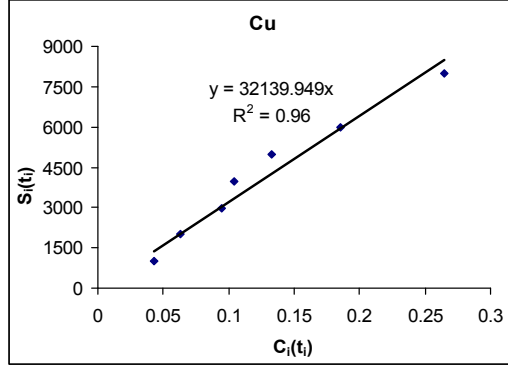


Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-1	972.311-971.111	Cu	27273.110
		Zn	12444.595
		Mn	308.148

Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-1	971.111-969.711	Cu	31114.675
		Zn	31086.192
		Mn	1517.854

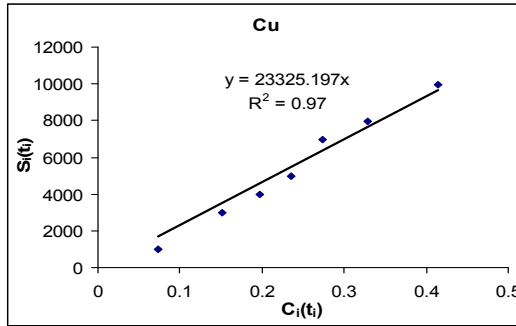


Ek 5: devam ediyor



Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-1	969.711-968.761	Cu	32139.949
		Zn	23772.194
		Mn	672.888

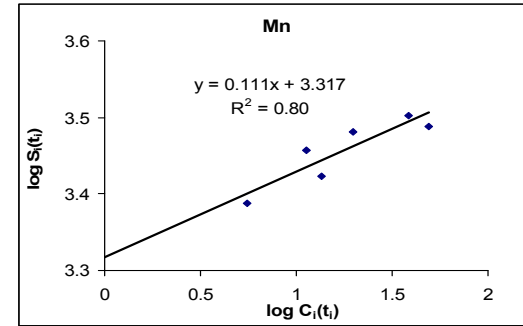
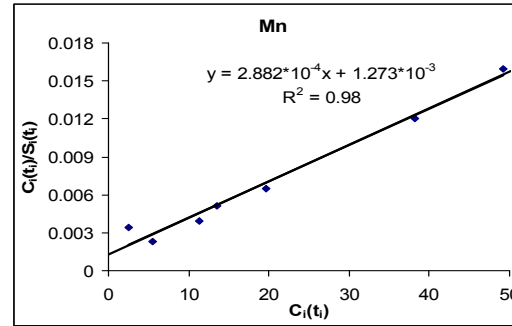
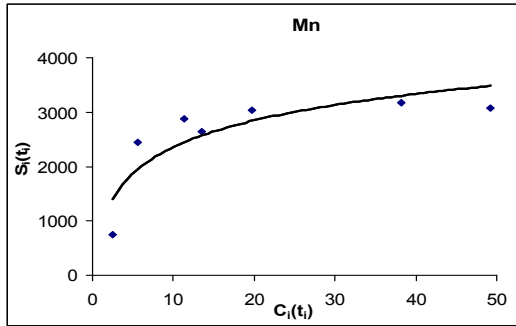
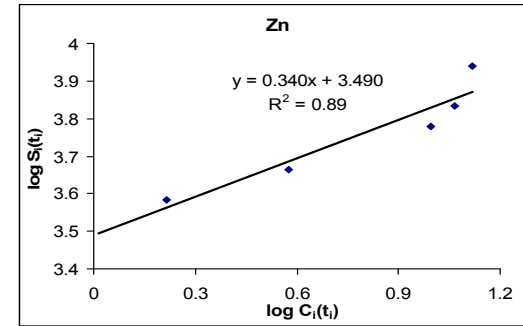
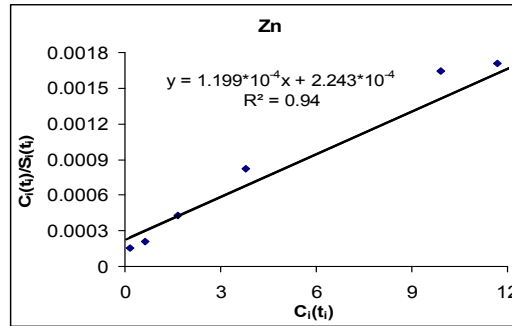
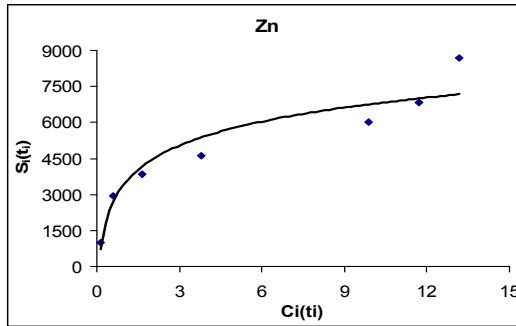
Ek 5: devam ediyor



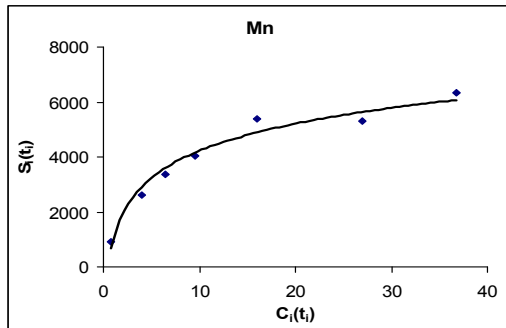
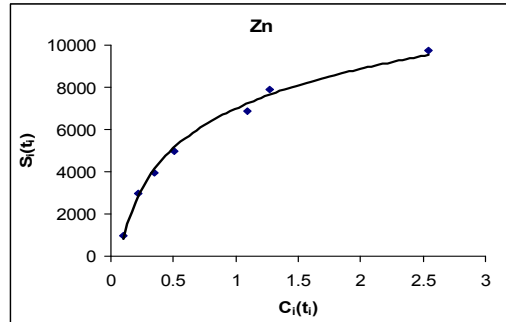
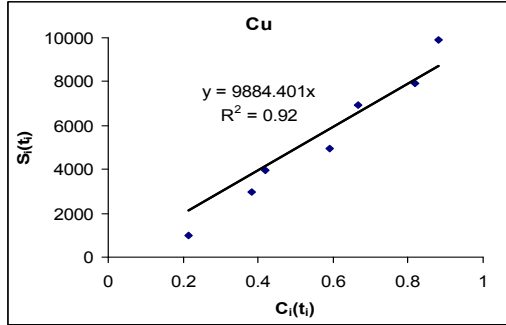
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-2	970.625-963.325		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	23325.197				
		Zn		8340.284	0.534	0.340	3090.295
		Mn		3469.813	0.226	0.111	2074.914

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

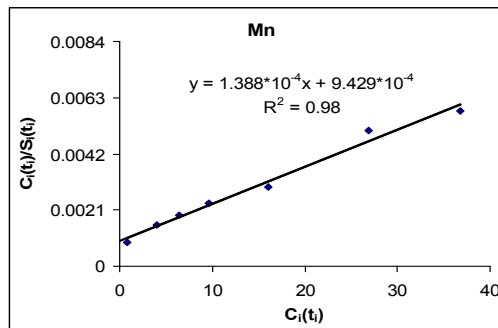
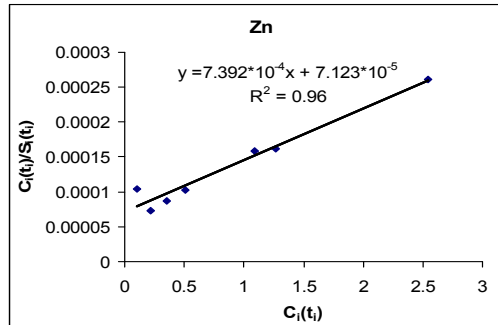


Ek 5: devam ediyor

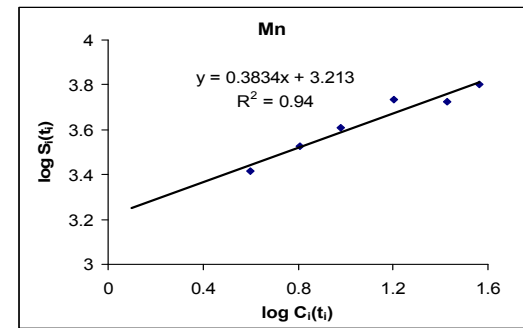
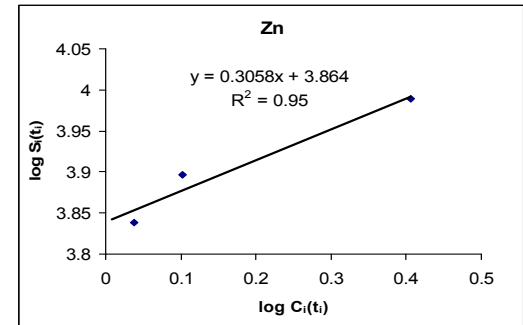


Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-4	969.115-968.315		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	9884.401				
		Zn		13528.139	1.038	0.3058	7311.390
		Mn		7204.611	0.147	0.3834	1633.052

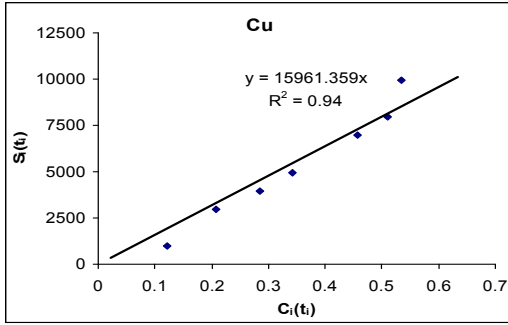
Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli



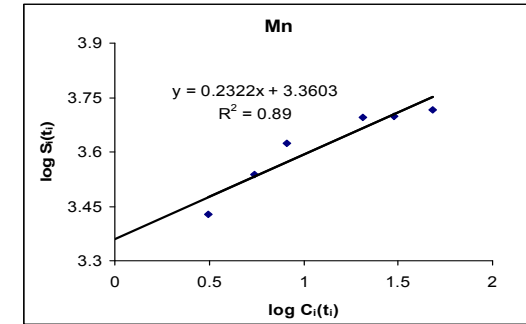
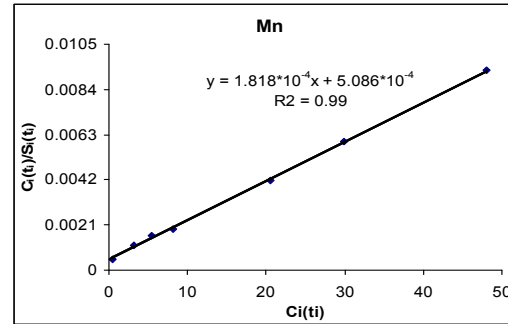
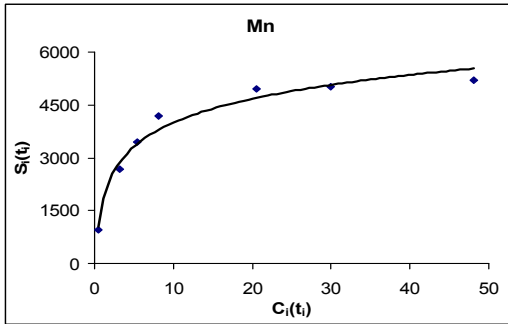
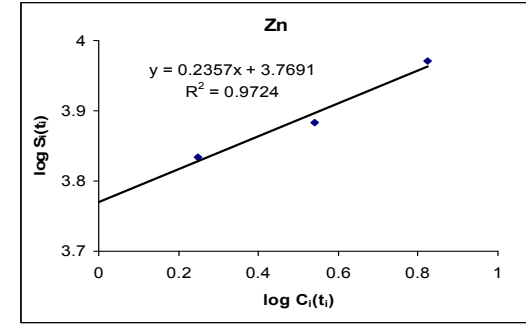
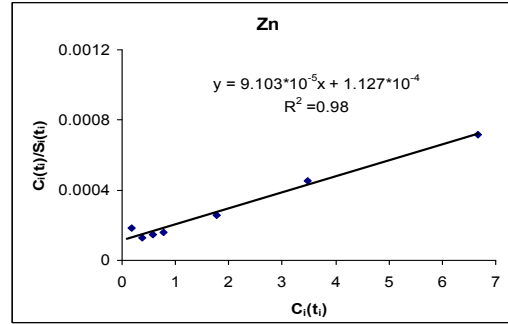
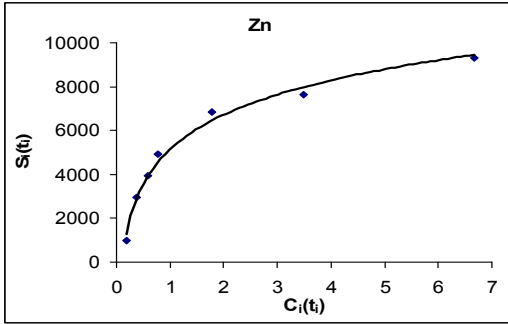
Ek 5: devam ediyor



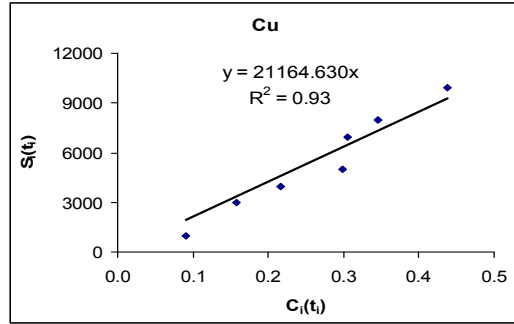
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-4	968.015-967.715		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	15961.36				
		Zn		10985.148	0.807	0.2357	5876.246
		Mn		5498.735	0.358	0.2322	2292.451

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli



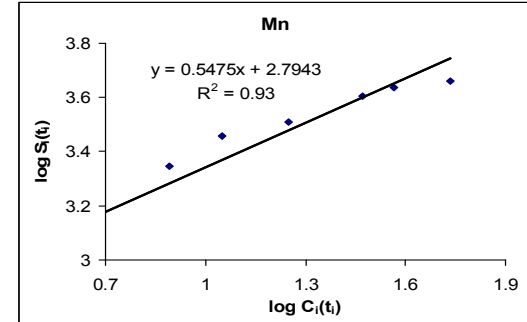
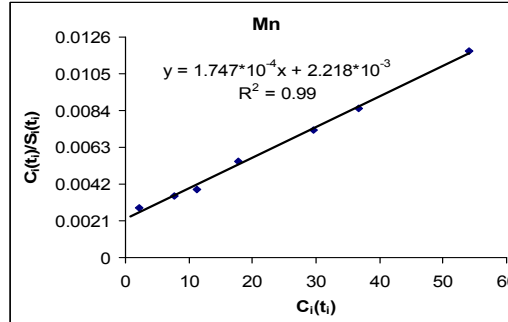
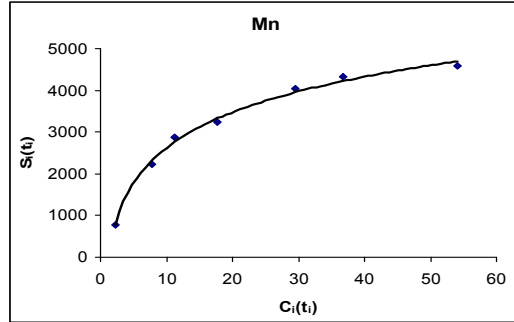
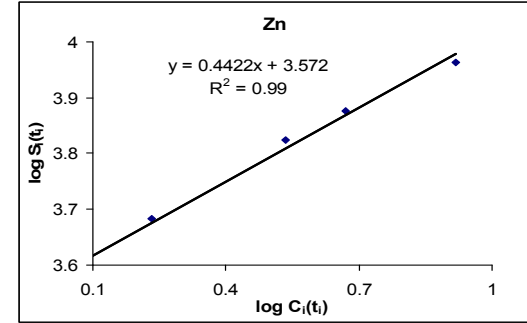
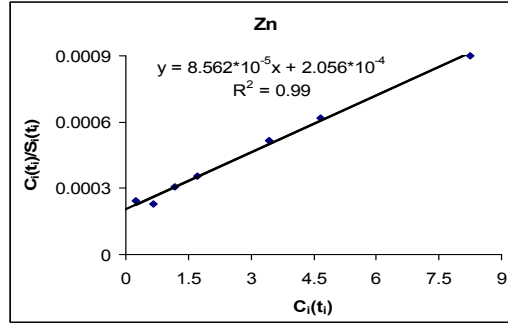
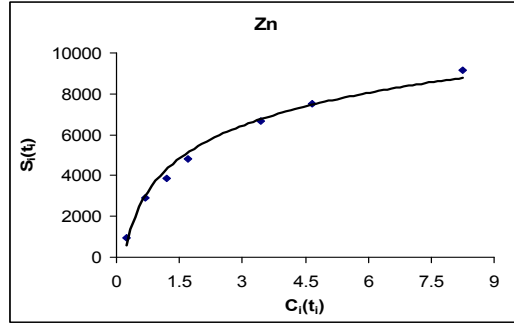
Ek 5: devam ediyor



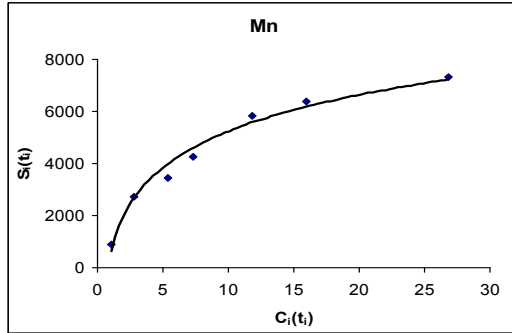
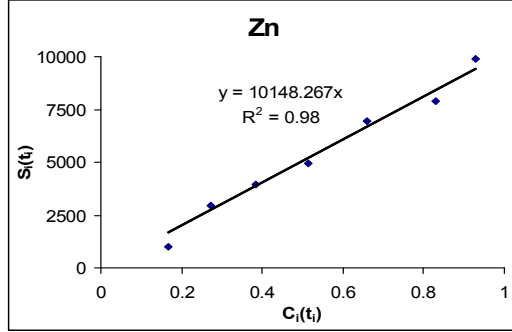
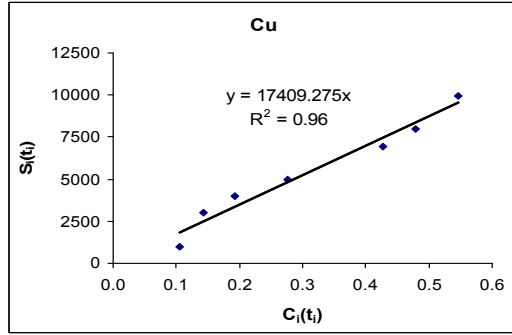
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
			K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
E-4	967.715-965.025	Cu	21164.630				
		Zn		11679.514	0.416	0.4422	3732.502
		Mn		5724.098	0.079	0.5475	622.730

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

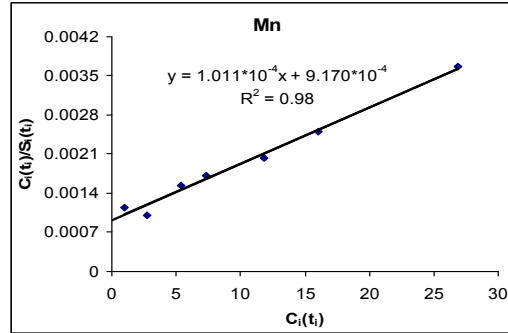


Ek 5: devam ediyor

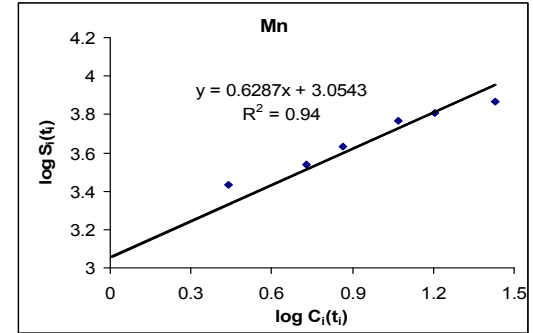


Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-4	965.025-964.525		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	17409.275				
		Zn	10148.267				
		Mn		9891.197	0.110	0.6287	1133.183

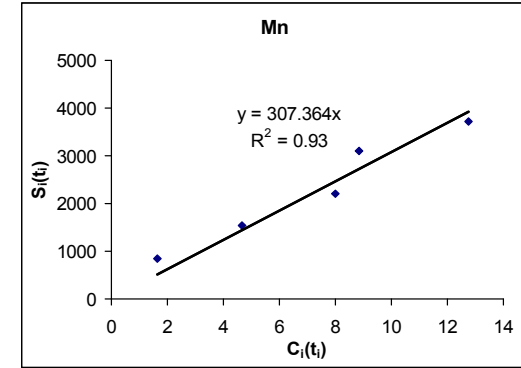
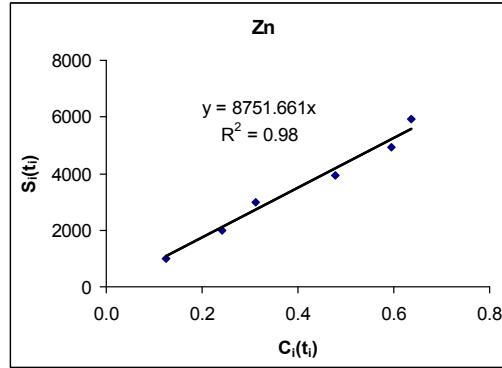
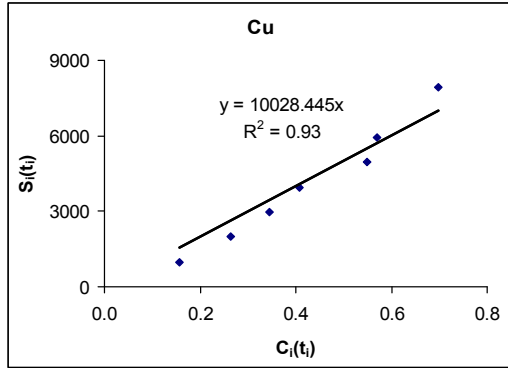
Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli

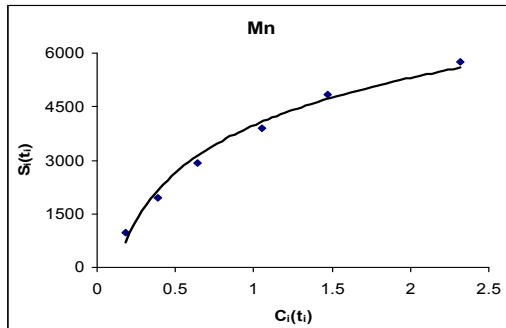
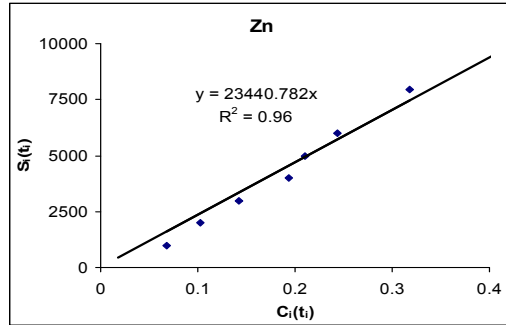
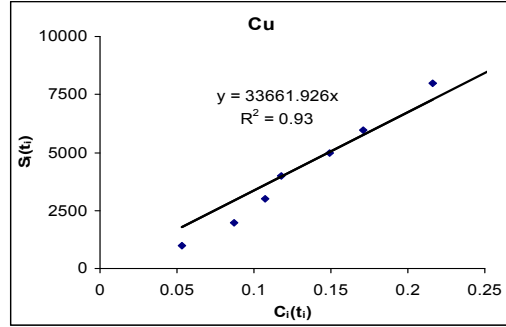


Ek 5: devam ediyor



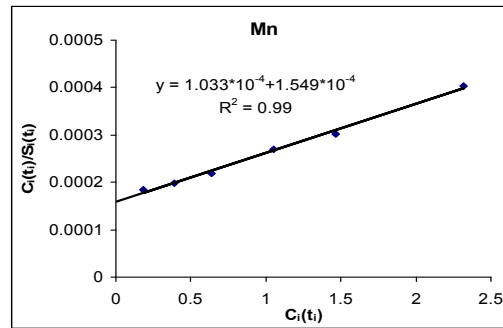
Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-4	964.525-963.686	Cu	10028.445
		Zn	8751.661
		Mn	307.364

Ek 5: devam ediyor

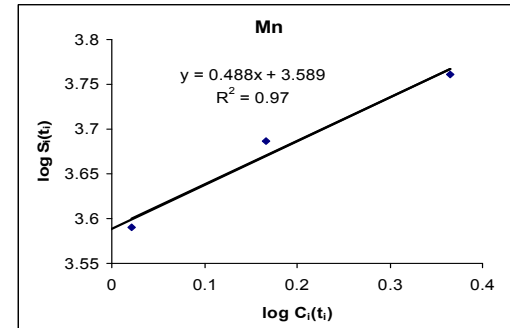


Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
			K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
E-7	969.450-966.810	Cu	33661.926				
		Zn	23440.782				
		Mn		9676.046	0.667	0.488	3881.504

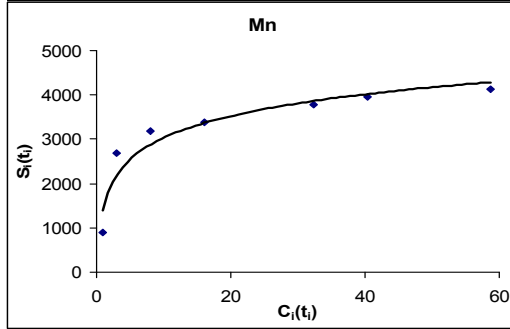
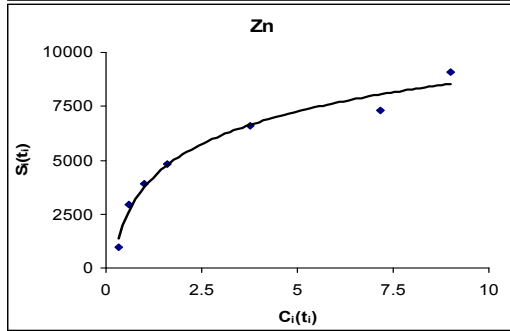
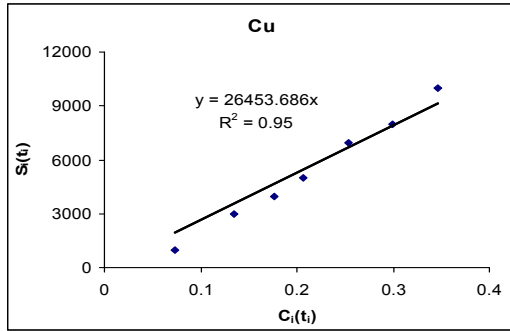
Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli



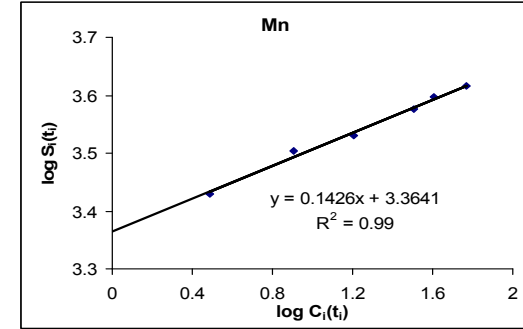
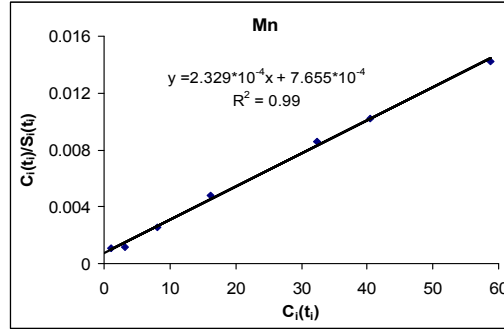
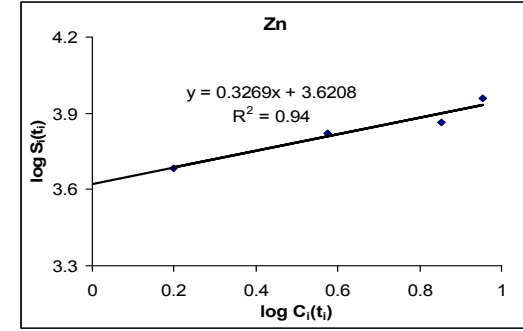
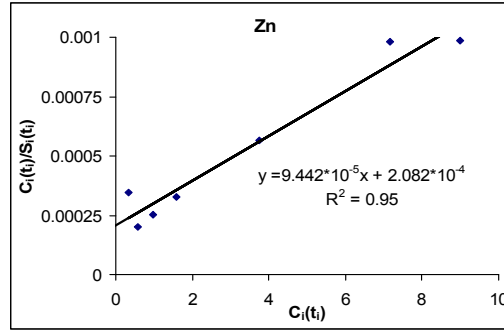
Ek 5: devam ediyor



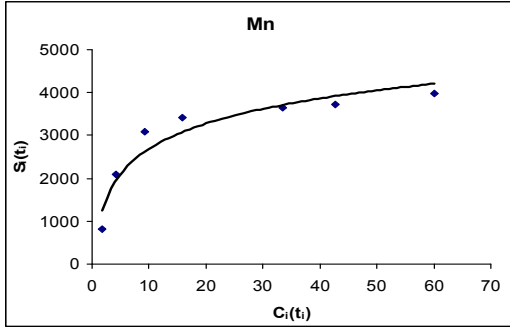
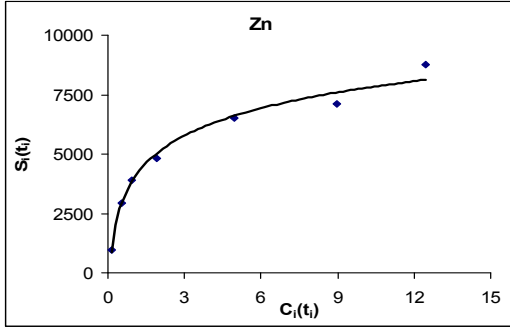
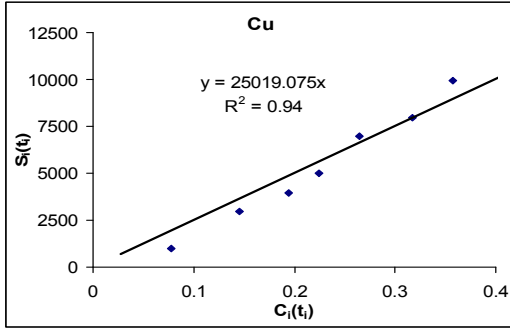
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-7	966.810-966.110		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	26453.686				
		Zn		10591.201	0.454	0.3269	4176.380
		Mn		4294.241	0.304	0.1426	2312.597

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli



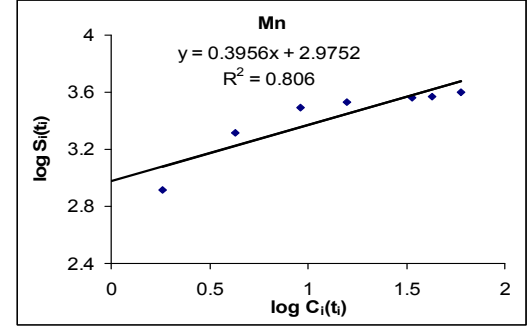
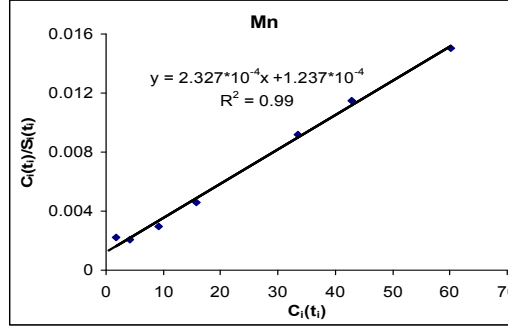
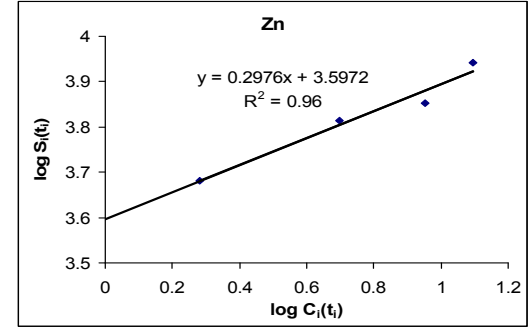
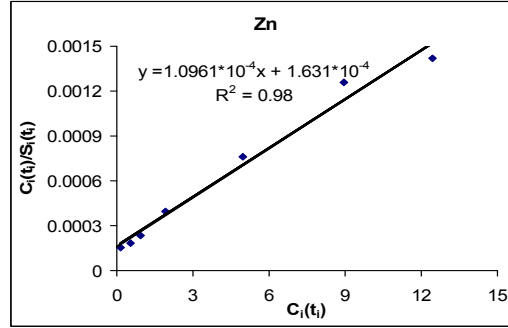
Ek 5: devam ediyor



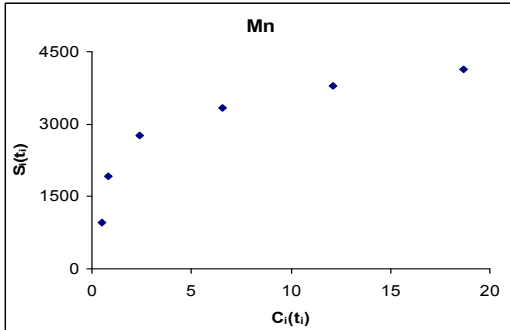
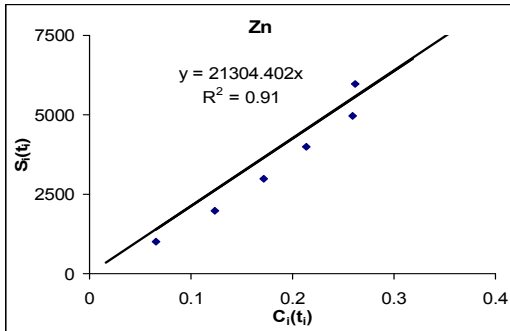
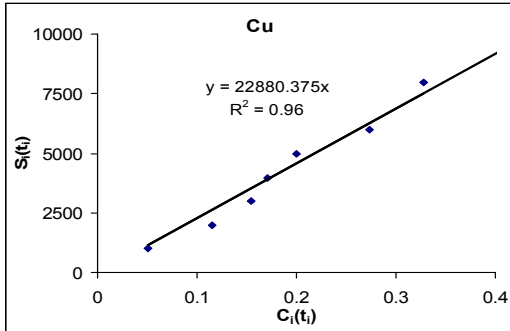
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-7	966.110-962.900		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	25019.075				
		Zn		9123.255	0.672	0.2976	3955.487
		Mn		4296.825	0.188	0.3956	944.496

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli



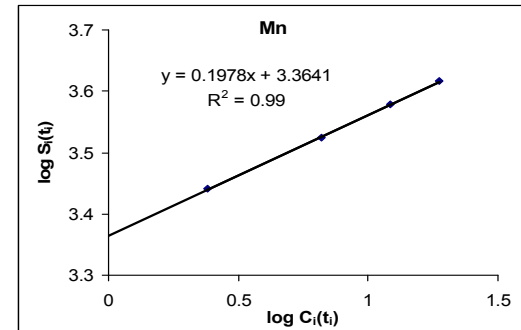
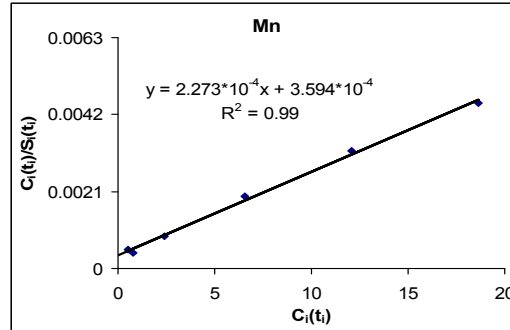
Ek 5 : devam ediyor



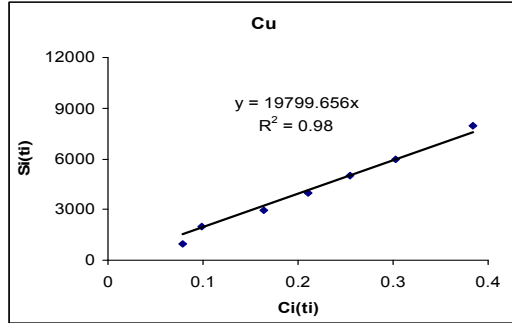
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-7	962.900-961.913		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	22880.375				
		Zn	21304.402				
		Mn		4399.472	0.632	0.1978	2312.597

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli



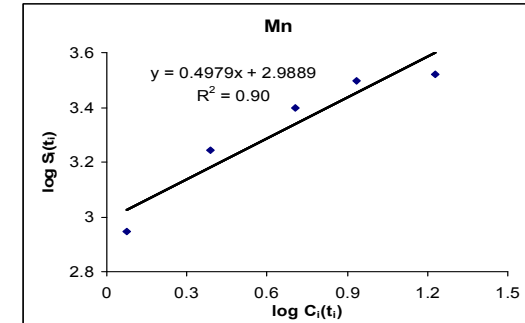
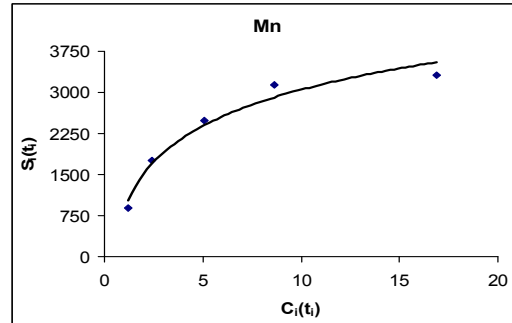
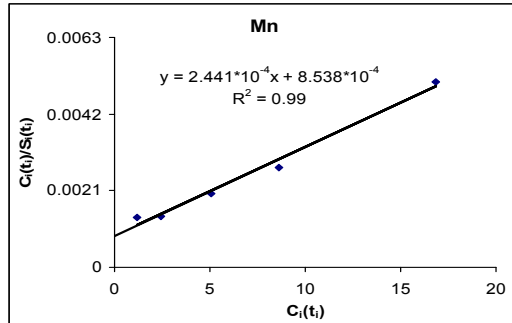
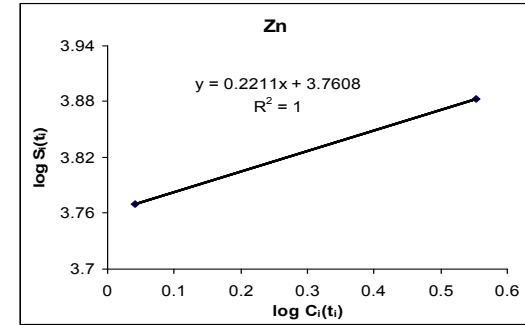
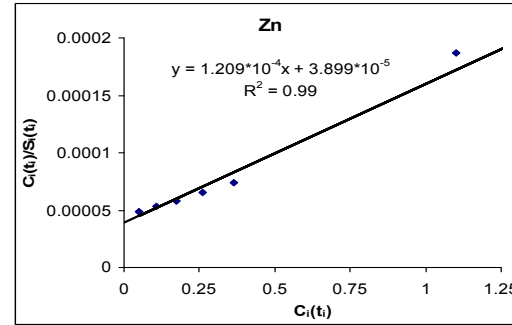
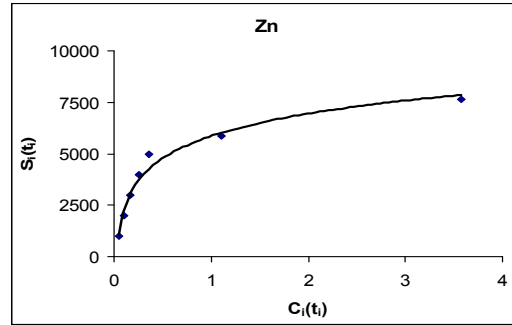
Ek 5: devam ediyor



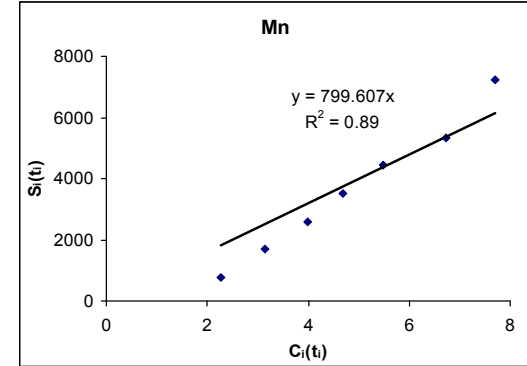
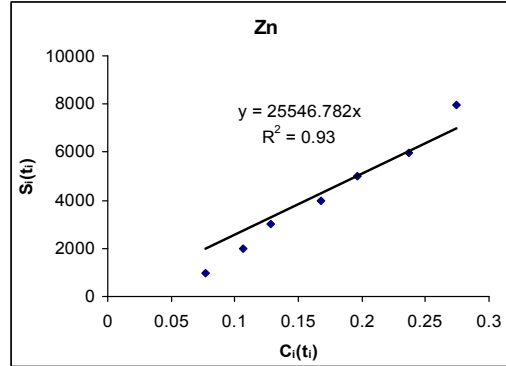
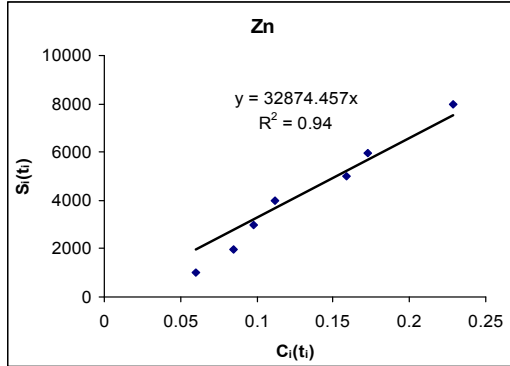
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-7	961.253-960.453		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	19799.656				
		Zn		8274.036	3.099	0.2211	5765.009
		Mn		4097.521	0.286	0.4979	974.765

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

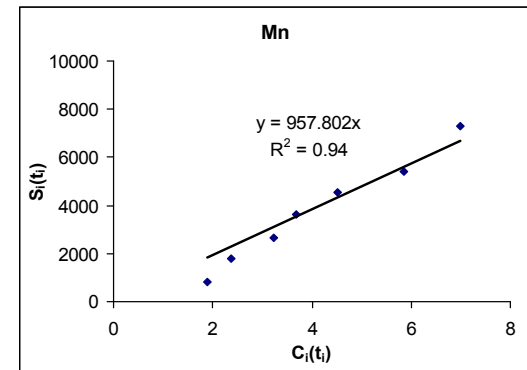
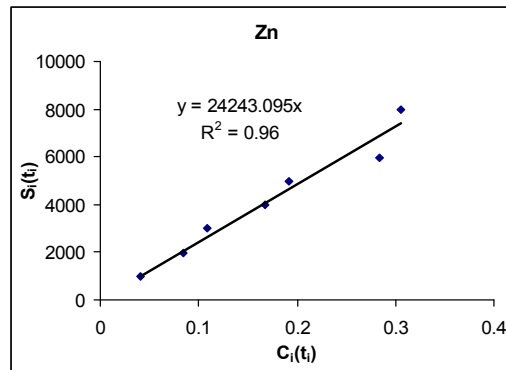
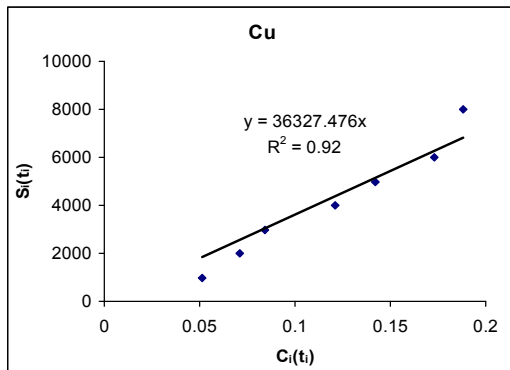


Ek 5: devam ediyor

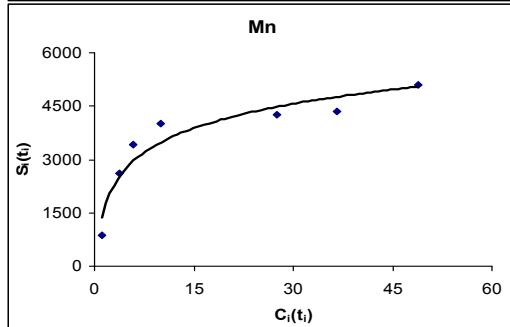
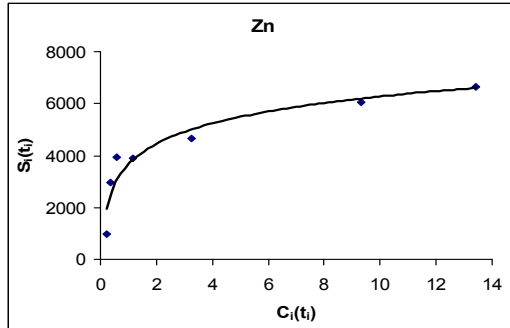
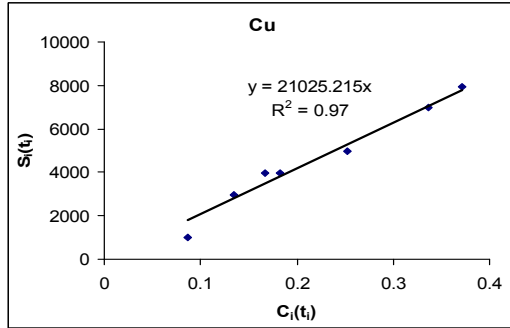


Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-8	969.4-963.155	Cu	32874.457
		Zn	25546.782
		Mn	799.607

Kuyu no	Derinlik	Ağır metal	K_d (l/kg)
			Doğrusal
E-8	963.815-962.155	Cu	36327.476
		Zn	24243.095
		Mn	957.802

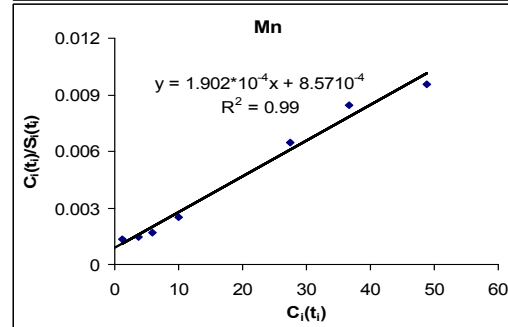
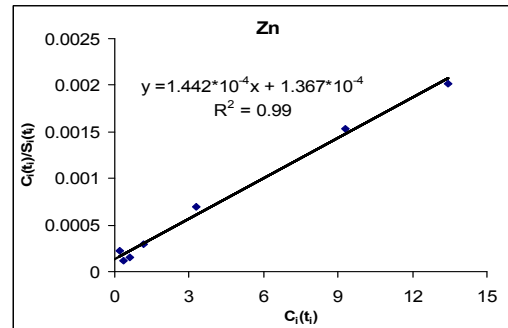


Ek 5: devam ediyor

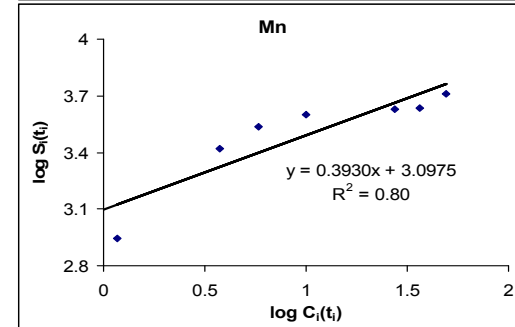
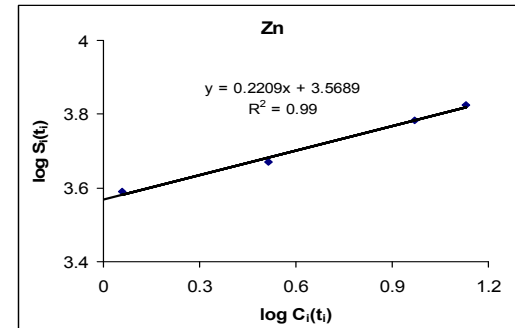


Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-8	960.315-959.915		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	21025.215				
		Zn		6934.813	1.055	0.2209	3705.954
		Mn		5257.9	0.222	0.3930	1251.699

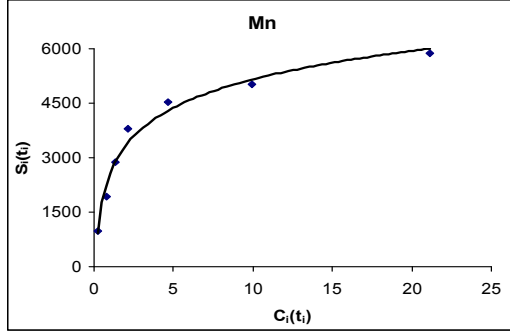
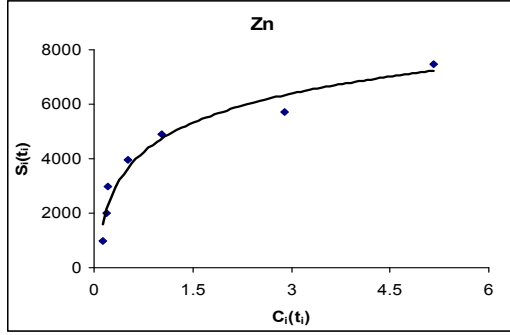
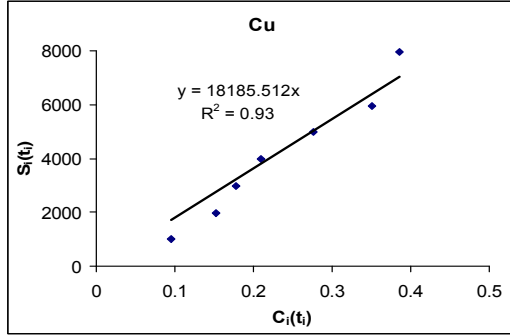
Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli



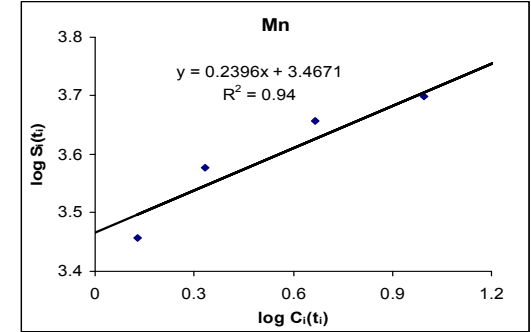
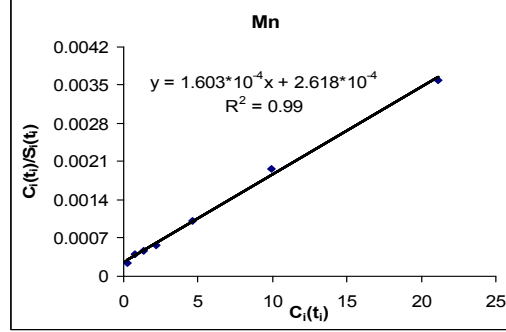
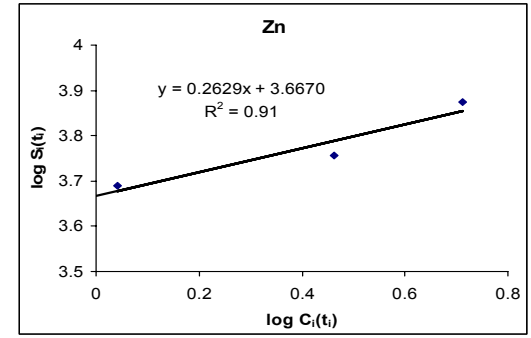
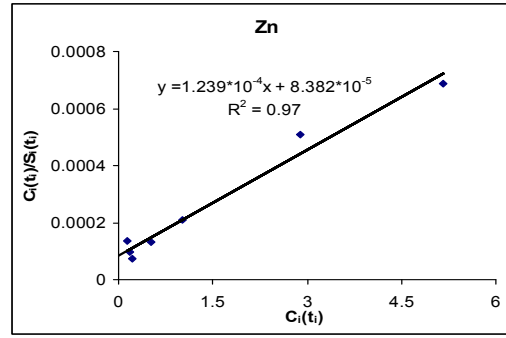
Ek 5: devam ediyor



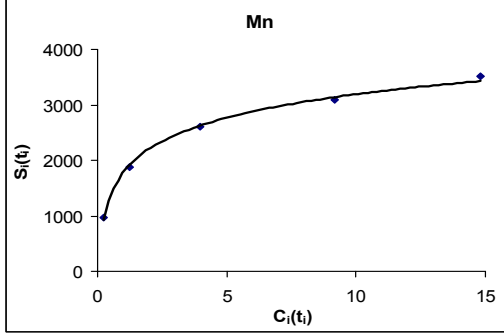
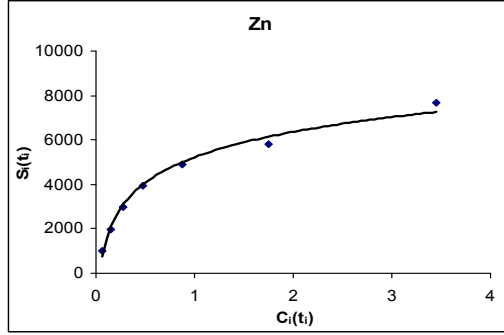
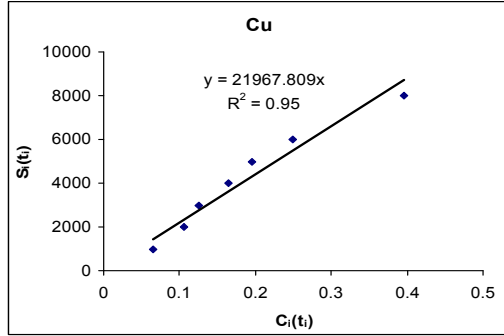
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır Metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-10	967.520-966.850		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	18185.512				
		Zn		8071.025	1.478	0.2629	4645.153
		Mn		6238.303	0.612	0.2396	2931.568

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

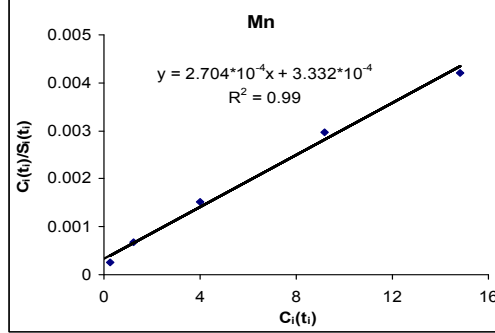
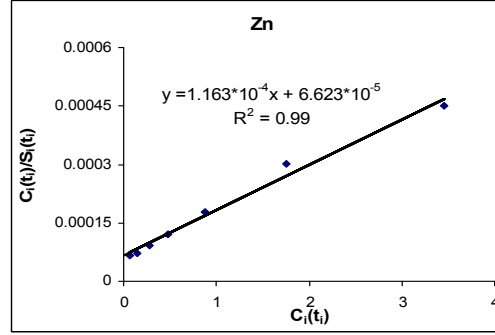


Ek 5: devam ediyor

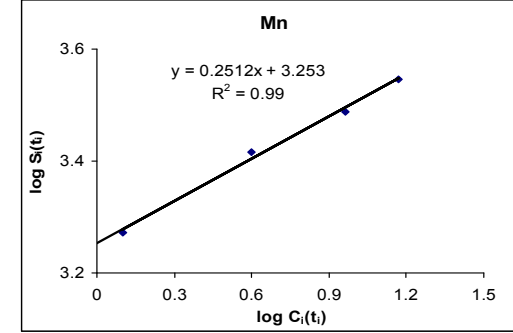
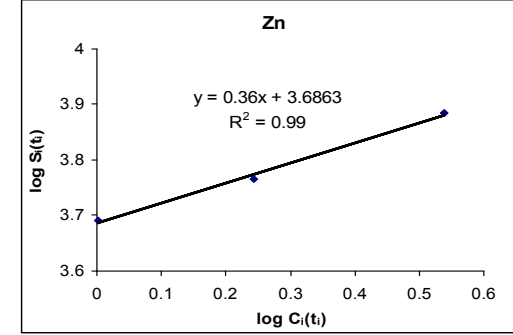


Kuyu No	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-10	965.770-965.020		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	21967.809				
		Zn		8598.452	1.756	0.3600	4856.238
		Mn		3698.225	0.812	0.2512	1790.606

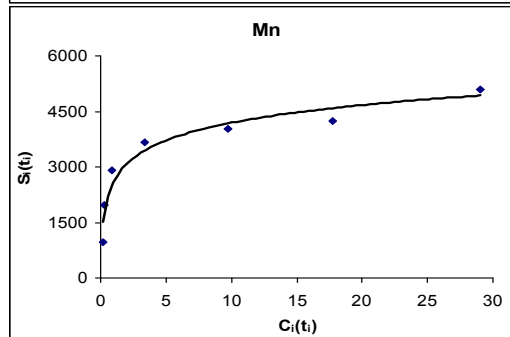
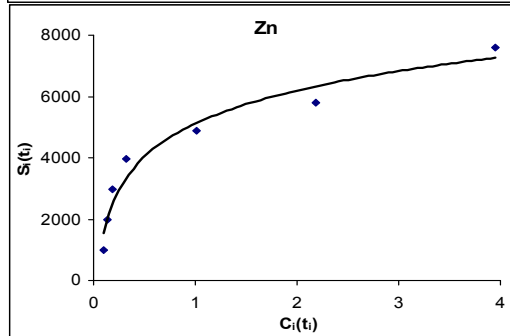
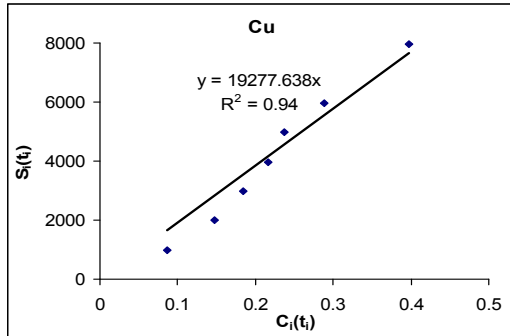
Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli



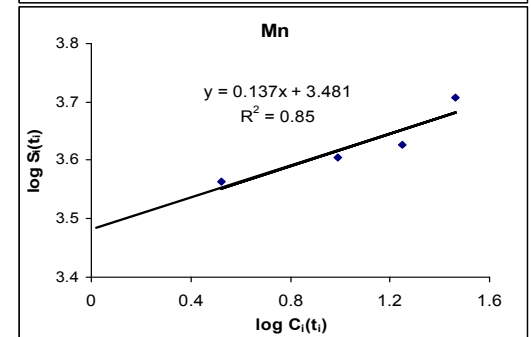
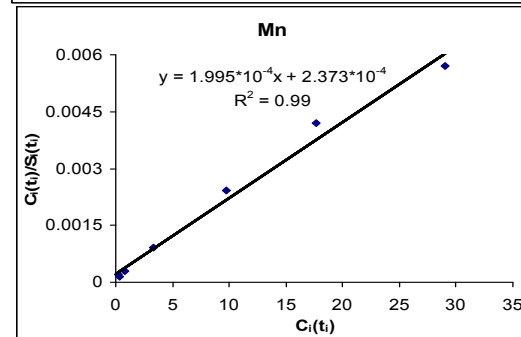
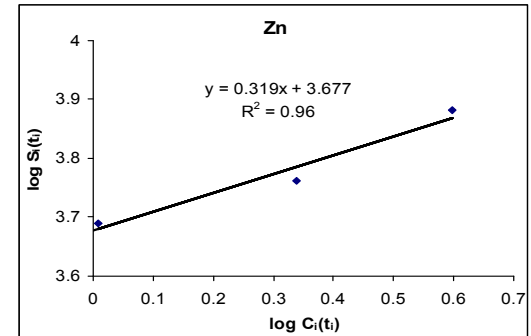
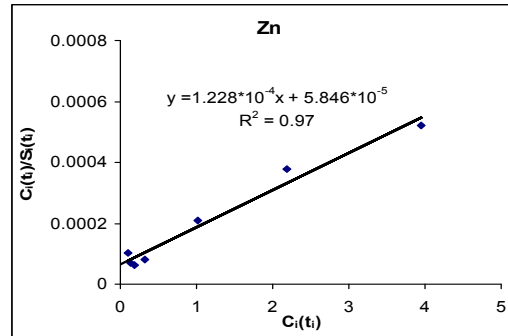
Ek 5: devam ediyor



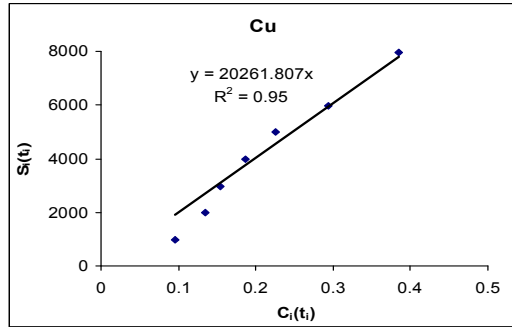
Kuyu no	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
			K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
E-10	965.020-964.220	Cu	19277.638				
		Zn		8141.996	2.101	0.3190	4753.352
		Mn		5012.531	0.841	0.1370	3026.913

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli



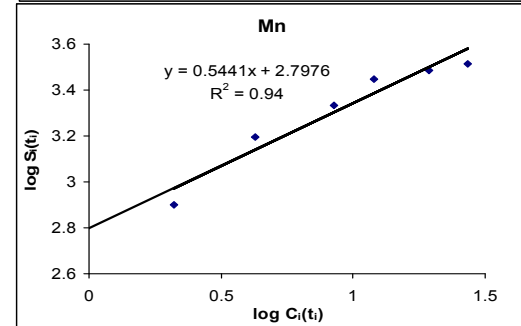
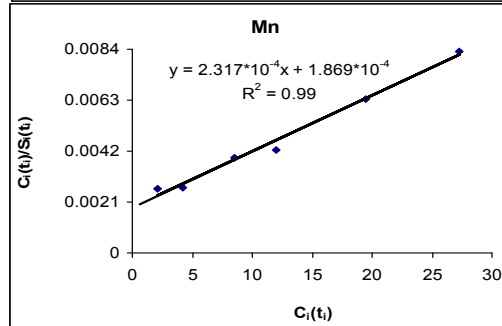
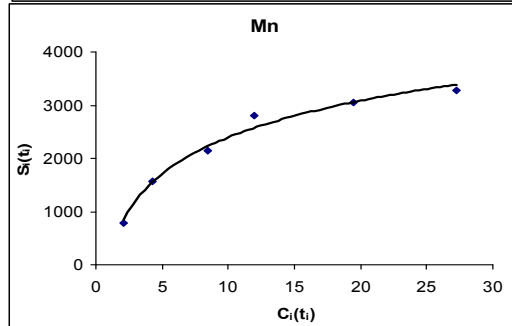
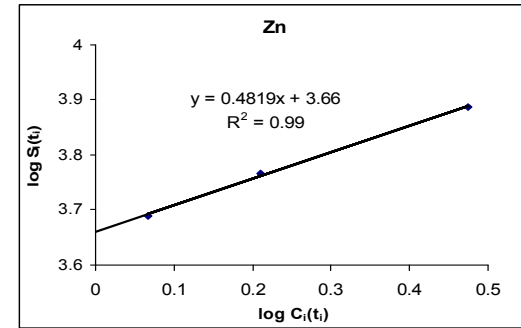
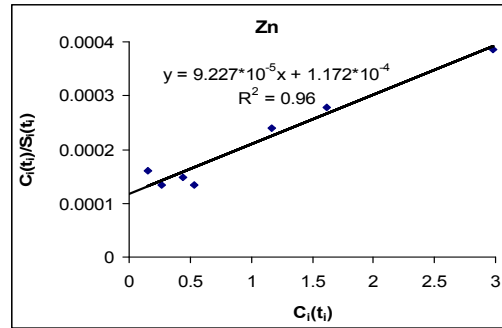
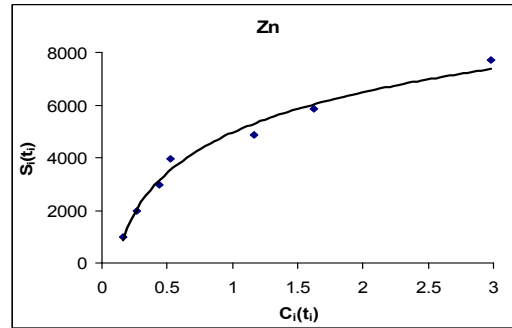
Ek 5: devam ediyor



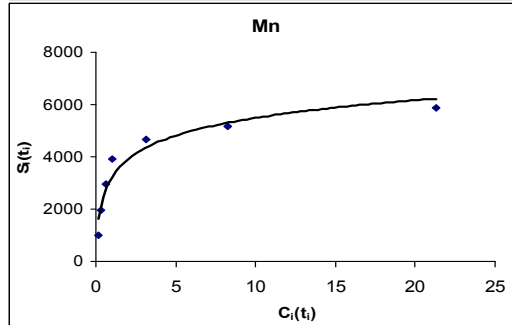
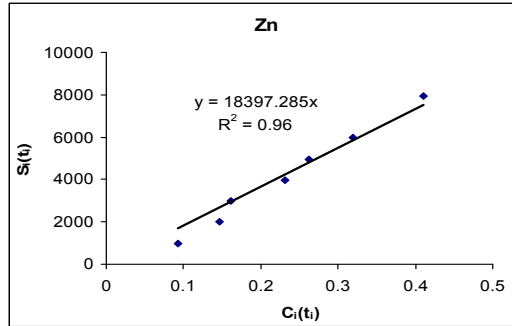
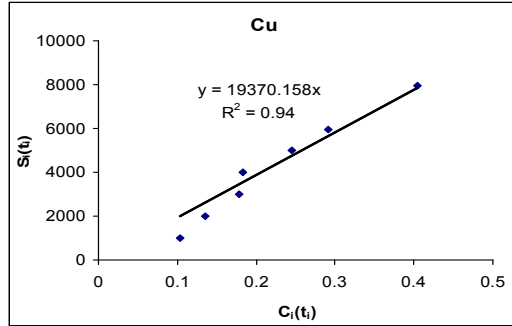
Kuyu No	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
E-10	964.220-963.370		K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
		Cu	20261.807				
		Zn		10869.565	0.786	0.4819	4570.882
		Mn		4347.830	0.123	0.5441	627.480

Langmuir izoterm modeli

Freundlich izoterm modeli

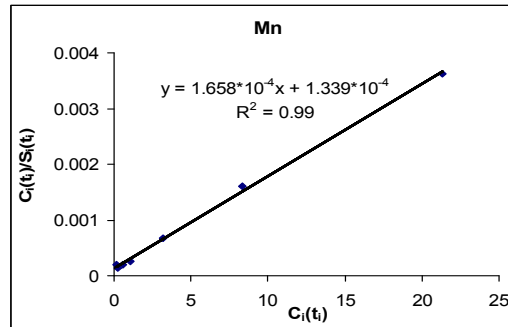


Ek-5 devam ediyor

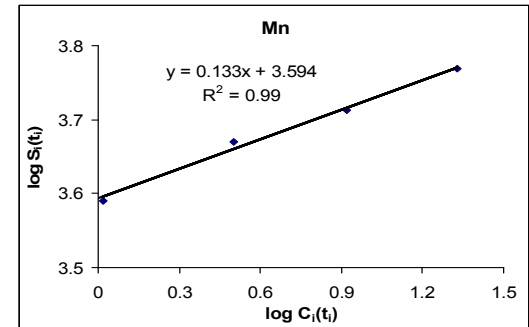


Kuyu No	Derinlik (m)	Ağır metal	Doğrusal	Langmuir		Freundlich	
			K_d (l/kg)	β (mg/kg)	α (l/mg)	N (birimsiz)	K (l/kg)
E-10	962.430-961.410	Cu	19370.158				
		Zn	18397.285				
		Mn		6032.819	1.238	0.133	3996.449

Langmuir izoterm modeli



Freundlich izoterm modeli



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan DİŞLİ

Doğum Yeri : KAYSERİ

Doğum Yılı : 1972

Medeni Hali : BEKAR

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1986-1989 Ankara Sincan Lisesi

Lisans 1990-1996 Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji)
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1996-2000 Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

1996-1997 Revize Hidrojeolojik Etüdler Kapsamında Akarçay Havzası
Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu Akım Modeli Projesi, Yardımcı
Araştırmacı

1999-2000 Resources Mangement in Kartic Areas Of the Coastal Regions of
the Mediterranean (RES MAN MED), Yardımcı Araştırmacı

2000-2001 Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji
Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi

2001-2007 Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji(Hidrojeoloji)
Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi